

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES PHYSIQUES

PAR

YVES GRAFF

1^{re} THÈSE. — ÉTUDE SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DES CIDRES, SES RAPPORTS
AVEC DIVERS FACTEURS : QUALITÉ, CRUS, POMMES, LEVURES, ETC.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 20 Juin 1949 devant la Commission d'examen

MM. G. DARMOIS, *Président*

E. AUBEL, *Examineurs*

R. WURMSER, —



CENTRE DE DOCUMENTATION UNIVERSITAIRE

TOURNIER ET CONSTANS

5, Place de la Sorbonne, 5

PARIS - V°

1951

FACULTE DES SCIENCES

Nom du candidat : GRAFF

Ré
Prénoms: Yves, Alain, René

Date de la soutenance : 20 Juin 1949

Numéro d'ordre : Série A.2309 - N° 3181

GRAFF (Yves) - Etude sur la composition chimique des cidres, ses rapports avec divers facteurs : qualités, crus, pommes, levures, etc.

Paris, C.D.U., 1951, In-4°, 248 p. planches.

Th.Sc.Phys.Paris 1949.Ser.A.2309
N° 3181.

GRAFF (Yves) - Etude sur la composition chimique des cidres, ses rapports avec divers facteurs : qualités, crus, pommes, levures, etc.

Paris, C.D.U., 1951, In-4°, 248 p. planches.

Th.Sc.Phys.Paris 1949.Sér.A 2309
N° 3181

GRAFF (Yves) - Etude sur la composition chimique des cidres, ses rapports avec divers facteurs : qualités, crus, pommes, levures, etc.

Paris, C.D.U., 1951, In-4°, 248 p. planches.

Th.Sc.Phys.Paris 1949.Ser.A.2309
N° 3181.

GRAFF (Yves) - Etude sur la composition chimique des cidres, ses rapports avec divers facteurs : qualités, crus, pommes, levures, etc.

Paris, C.D.U., 1951, In-4°, 248 p. planches

Th.Sc.Phys.Paris 1949.Ser.A.2309
N° 3181.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES PHYSIQUES

PAR

YVES GRAFF

1^{re} THÈSE. — ETUDE SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DES CIDRES, SES RAPPORTS
AVEC DIVERS FACTEURS : QUALITÉ, CRUS, POMMES, LEVURES, ETC.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 20 Juin 1949 devant la Commission d'examen

MM. G. DARMOIS, *Président*

E. AUBEL, *Examineurs*

R. WURMSER, —



CENTRE DE DOCUMENTATION UNIVERSITAIRE
TOURNIER ET CONSTANS
5, Place de la Sorbonne, 5
PARIS - V°

1951

THÈSES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

LE GRADE DE DOCTEUR EN SCIENCES PHYSIQUES

YVES GRAFF



Soutenues le 30 Juin 1951 devant la Commission d'examen

M. J. DE VRIES, Président

R. DE VRIES, Rapporteur

P. WILHELM, Secrétaire

28

CENTRE DE RECHERCHES UNIVERSITAIRES
TOURNAI (BELGIQUE)
1951

A MES PARENTS

AVANT-PROPOS

Qu'il me soit d'abord permis d'exprimer ici ma respectueuse gratitude à MM. les Professeurs DARMOIS et AUBEL qui ont bien voulu m'éclairer de leurs conseils et diriger l'accomplissement de ce travail.

J'ai l'agréable devoir de témoigner toute ma reconnaissance aussi à M. KEILLING, alors Inspecteur Général des Recherches Agronomiques, et à Mademoiselle BEJAMBES, Directrice de la Station Centrale de Technologie Agricole, qui ont accepté de m'ouvrir leur laboratoires pour y effectuer ces recherches.

Je ne voudrais pas non plus oublier de rendre hommage, en la personne de son président, Monsieur GAVREL, au Syndicat National des Cidriers et Fabricants d'Eau-de-vie de cidre, dont la compréhension s'est traduite par une aide matérielle importante; ainsi qu'aux divers groupements locaux, qui, par leur appui, m'ont permis de réaliser les concours de cidres nécessaires à mes travaux.

C'est enfin avec plaisir que je remercie M. VESSEREAU, qui m'a initié aux méthodes statistiques et guida mes premières recherches, et M. le Professeur FORTET dont les avis m'ont été si utiles dans la poursuite de cette thèse.

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE PARIS

Doyen M. A. CHATELET

Professeurs

L. BLARINGHEM	T	Botanique
G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure
A. DENJOY	T	Théorie des Fonctions et Topologie
L. LUTAUD	T	Géographie physique et géologie dynamique
E. DARMOIS	T	Enseignement de Physique
Robert LEVY	T	Physiologie comparée
Henri VILLAT	T	Mécanique des fluides et applications
Ch. JACOB	T	Géologie
P. PASCAL	T	Chimie générale
Mme RAMART-LUCAS	T	Chimie organique
FOCH	T	Mécanique physique et expérimentale
PAUTHENIER	T	Electrotechnique générale
De BROGLIE	T	Théories physiques
JOB	T	Chimie générale
PRENANT	T	Anatomie et histologie comparées
COMBES	T	Physiologie végétale
GARNIER	T	Géométrie supérieure
PERES	T	Mécanique rationnelle
HACKSPILL	T	Chimie minérale
LAUGIER	T	Physiologie générale
TOUSSAINT	T	Technique aéronautique
M. CURIE	T	Physique (P.C.B.)
G. RIBAUD	T	Hautes températures
CHAZY	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste
CROZE	T	Physique théorique et Physique céleste
DUPONT	T	Théories chimiques
VALIRON	T	Calcul différentiel et Calcul intégral
BARRABE	T	Géologie structurale et Géologie appliquée
VAVON	T	Analyse et mesures chimiques
G. DARMOIS	T	Calcul des Probabilités et Physique mathématique
Jacques BOURCART		Géographie physique et Géologie dynamique
AUBEL	T	Chimie biologique
Mme JOLIOT-CURIE	T	Physique générale et Radioactivité
PLANTEFOL	T	Botanique
CABANNES	T	Recherches physiques
GRASSE	T	Evolution des êtres organisés
PREVOST	T	Chimie organique
BOUDIGAND	T	Application de l'Analyse à la Géométrie
CHAUDRON	T	Chimie appliquée
WYART	T	Minéralogie
TEISSIER	T	Zoologie
MANGENOT	T	Biologie végétale
P. AUGER	T	Physique quantique et relativité
MONNIER		Physiologie végétale
PIVETEAU	T	Géologie
ROCARD	T	Physique
H. CARTAN		Mathématiques générales
SCHAEFFER	T	Physiologie des fonctions
LAFFITTE	T	Chimie (P.C.B.)

FAVARD		Calcul des probabilités et Physique-Mathématique
COULOMB	T	Physique du Globe
Melle COUSIN	T	Biologie animale (P.C.B.)
CHRETIEN		Chimie P.C.B.
DRACH		Zoologie
KASTLER		Physique
CHATELET	T	Arithmétique et théorie des nombres
EPHRUSI	T	Génétique
WURMSER	T	Biologie physico-chimique
BAUER	T	Chimie-Physique
RIVIERE		Géologie (P.C.B.)
GAUTHERET		Biologie végétale (P.C.B.)
LUCAS		Physique
Max MORAND		Physique
ARNULF		Optique appliquée
A.THOMAS		Evolution des êtres organisés
SOLEILLET		Physique
FORTIER	T	Mécanique expérimentale des fluides
DANJON	T	Astronomie
FROMAGEOT		Chimie biologique
LAPORTE		Physique générale et Radioactivité
JANET		Mathématiques générales
PETIT	T	Biologie maritime
QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique
GALLIEN		Biologie animale (P.C.B.)
EICHHORN		Biologie végétale (P.C.B.)
De CUGNAC		Biologie végétale (P.C.B.)
LAVAL		Physique (P.C.B.)
Melle CAUCHOIS		Chimie-Physique
THELLIER		Physique du globe
AUDUBERT		Electrochimie
L'HERITIER		Génétique
GRIVET	T	Radioélectricité
PONCIN		Mécanique des fluides
THIY	T	Mécanique appliquée
DUBREIL		Mathématiques générales
QUELET		Chimie (P.C.B.)

Secrétaire Ch.MONIER

INTRODUCTION

Les anciens traités de cidre étaient intitulés : "De l'art de faire du cidre", comme il y avait un art de faire du vin ou de la bière.

Mais, si l'art s'est conservé de faire du vin, si, bien-tôt depuis une centaine d'années, la fabrication de la bière s'est établie sur des bases scientifiques solides, qui en font maintenant une industrie moderne au sens propre du mot, il n'en est pas de même en cidrification.

Sauf quelques exceptions, la cidrerie industrielle n'existe pas, ou n'est qu'une extension, sans modification, de la fabrication paysanne : l'artisanat subsiste, mais l'art a disparu, et il n'y a que très peu de producteurs dont l'expérience est assez développée pour leur permettre de fabriquer à coup sûr du bon cidre.

En effet, malgré l'importance de la consommation, qui place le cidre au deuxième rang des boissons nationales, malgré l'importance de la production dans certaines régions, où elle constitue la plus grande partie des revenus des paysans, ceux-ci, selon une vieille coutume, fondée on ne sait sur quoi, considèrent le cidre comme un sous-produit de leur exploitation, qui leur évite un manque à gagner, plutôt qu'il ne constitue un gain, et par conséquent ne veulent lui consacrer aucun soin.

Cette situation a justement inquiété certains professionnels et c'est pourquoi le Syndicat National des fabricants de cidre et Eaux-de-vie de cidre, nous a demandé, il y a quelques années, d'étudier ce problème et de déterminer les conditions exactes dans lesquelles on est sûr de faire toujours du bon cidre.

Jusqu'ici, certains chercheurs, bien peu, s'étaient occupés du cidre. Mais leur but essentiel était l'amélioration des techniques, pour être utile aux industriels qui sont toujours pressés d'avoir des résultats, alors qu'à notre avis, il faut envisager la question beaucoup plus largement : Ce n'est que quand le problème aura été résolu sur le plan théorique, et purement théorique, que l'on devra chercher à appliquer ces solutions à la pratique.

Comment se pose-t-il ? Plusieurs points seraient à considérer :

- 1) Matières premières, leur transformation en moût.
- 2) Agents et processus de la fermentation.
- 3) Le produit fini.

Une étude complète sera donc très longue. Peut-on dans un premier stade la simplifier en ne s'attachant qu'à quelques aspects fondamentaux ?

Le principal, qui a trait au produit fini, est certainement sa qualité, c'est à lui que tout se rattache. Son étude permettra donc de préciser quels sont les autres points à étudier dans les différentes phases de la préparation du cidre.

Mais elle est des plus délicates du fait de l'extrême variabilité des caractères principaux du cidre : or si la diversité des cidres est considérable, ils sont tous également recherchés par diverses catégories de consommateurs : il ne s'agit donc pas d'établir une échelle de qualité pour un produit défini, mais pour toutes sortes de crus, difficilement comparables entre eux.

Il semblerait au moins pour ces questions de crus et de qualité, que le mieux serait de se fier à l'opinion des dégustateurs. Or nous avons montré (1) que si un dégustateur peut comparer des produits de même nature, il lui est très difficile de le faire dans le cas contraire, de même qu'un oeil exercé peut comparer les intensités lumineuses de sources de même couleur, mais non si elles sont de couleurs différentes. De plus par quelques exemples, nous avons montré que la dégustation est un critère essentiellement subjectif, et qu'il faut donc n'y avoir recours que le moins possible.

Nous nous sommes efforcés d'expliquer dans le même article, pourquoi la distinction des crus est aussi très difficile par la dégustation pour les cidres, beaucoup plus que pour les vins; très grande irrégularité de la qualité du produit, nombre considérable des variétés de pommes dans la même région, dans le même verger, qui supprime tout caractère dominant propre à cette contrée, de sorte qu'il y a souvent des différences plus grandes entre des échantillons d'une même localité que d'une région à une autre; tous les facteurs qui contribuent à créer le cachet propre du cru s'enchevêtrent, interfèrent les uns avec les autres : s'ils ont des effets contradictoires, leur résultante sera plus ou moins marquée : il faudrait que le dégustateur puisse redécomposer tous ces effets pour chaque cidre, additionner les effets semblables pour tous les échantillons du cru, et comparer avec un autre cru. Si les différences ne sont pas tranchées, cela est impossible.

Nous avons alors conclu que seule l'étude de la composition chimique des cidres pourrait être un critère assez précis, qui de plus permettrait d'étudier un à un les divers éléments soumis aux diverses causes de variation, mais à condition encore de pouvoir séparer celles-ci.

Si le problème paraît ainsi soluble, sa complexité, due à ces variations n'est pas éliminée. Après avoir insisté sur cette

complexité, nous verrons ce qui a cependant déjà été fait, et ce qu'une étude plus approfondie peut encore apporter.

1) DIFFICULTES DU PROBLEME :

KAISER (2) notait ces difficultés déjà en 1890. A la suite d'un concours de cidres, il cherche le reflet de la qualité de ceux ci dans leur composition chimique. Voici ce qu'il écrit à propos des tableaux analytiques qu'il établit, et qui mérite d'être rappelé in extenso :

"En étudiant ces tableaux dans lesquels les cidres ont été rangés, à peu près, dans l'ordre de mérite qui leur a été donné par le jury de dégustation, on constate tout de suite, l'impossibilité de rattacher à aucune condition chimique bien précise les jugements d'ensemble portés sur ces divers produits. Les cidres qui ont reçu les plus hautes récompenses, ne sont ni ceux qui ont le plus d'alcool, ni ceux qui ont le plus ou le moins de sucre, ni les plus riches ou les plus pauvres en tanins, ou en acides volatils, ni les plus ou moins acides... Il nous apparut que dans la distribution des récompenses, le jury avait obéi à des considérations fort diverses, tenant ou non compte du goût des fruits, de la saveur sucrée, ou de la saveur acre... Peut-être s'est-il attaché à donner le premier rang aux cidres qui paraissent avoir le plus de chances de durée. Cette chance de durée peut en effet dépendre de circonstances très variables; richesse en alcool, en sucres, en tanins, même en acides volatils, présence ou absence de ces faux goûts qui caractérisent en général un commencement de maladie. A cette cause d'indécision, venait s'en joindre une autre : certains cidres provenaient de pommes plus ou moins étendues d'eau, dans certains, il y avait probablement eu addition de sucre; dans d'autres, d'eau-de-vie..."

C'est la dessus, qu'insistaient aussi MARCHADIER ET GOUJON (3) en mettant précisément en évidence ces points : crus, qualités : "Quand il s'agit de cidres, les variations dans la composition prennent une amplitude déconcertante. A la fois les conditions climatériques, la nature des sols et la multitude des sols travaillés interviennent pour modifier de telle façon les résultats analytiques, que les conclusions deviennent bien délicates. En cidrerie, nous n'avons pas en effet cette uniformité de bouquet, qui fait la réputation mondiale de nos principaux crus vinicoles. Au contraire, autant de goûts que de producteurs. Bien plus, le même fabricant ne réussit que rarement à reproduire la même qualité. C'est qu'en effet le nombre des variétés de pommes actuellement cultivées est presque infini : chaque année apporte sa série d'espèces nouvelles aux fruits forcément mal connus... De là ces différences de goût et de composition qui surprennent à la fois consommateurs et chimistes... Dans ces conditions, les études précises, base de tout progrès, deviennent bien difficiles, sinon impossibles..."

L'on rencontre donc les mêmes difficultés, et pour les mêmes raisons, dans l'étude de la composition chimique des cidres que dans leur dégustation. C'est ce qui explique que les travaux publiés jusqu'ici signalent ces variations, les facteurs qui influent sur elles, mais sans relier la cause à l'effet. C'est ce que nous chercherons à faire, et si la réciproque est possible, à définir la qualité des cidres par leur composition chimique.

Comme expérimentalement, on ne peut arriver à isoler chacun des facteurs agissant, à n'en faire varier qu'un seul, toutes choses égales d'ailleurs, il faudra recourir à des méthodes appropriées, en l'espèce aux méthodes statistiques, et l'on sera amené en l'espèce aux méthodes statistiques, et l'on sera amené à chercher une relation aussi approchée que possible entre la composition et la qualité du cidre.

Avant d'exposer notre méthode et nos résultats, faisons le point de ce qui est acquis pour l'instant.

II) TRAVAUX EXISTANTS :

1) Variations de la composition du cidre :

Nous avons dit déjà que les auteurs précédents se sont contentés de noter les différentes valeurs que pouvaient prendre les différents éléments du cidre, leurs limites, mais sans les rattacher à aucune cause précise.

Ainsi pour des purs jus, selon LE CHARTIER le titre alcoolique varie de 5°2 à 6°5, mais peut descendre à 4° et aller jusqu'à 9°. L'extrait réduit peut varier du simple au double, ayant le plus souvent des valeurs comprises entre 20 et 30 grammes par litre, mais pouvait tomber à 13 grammes. Le tanin, les gommes et matières pectiques peuvent varier respectivement de 0,2 à 3,5 g/l, et 0,58 à 4,00 g/l. Les cendres, entre 1,70 et 3,55 g/l varient du simple au double, ainsi que le rapport cendre/extrait sec.

STEUART⁽⁴⁾ observe des limites de variation plus étroites pour les cendres : 1,7 à 2,8 g/l. Il indique pour la glycérine 3 à 5 g/l, pour la sorbite 2,5 à 13 g/l., pour l'acide succinique 0,5 à 1,0 g/l.

C'est à cet acide aussi que KAISER attribue le principal des variations de l'acidité totale du cidre (1,8 à 4,0 g/l).

D'une manière générale, ce sont d'ailleurs surtout les acides fixes qui varient dans l'acidité totale comme le montre par exemple le tableau de DURIEUX et WILLEMART (5).

Extrait sec de	32,40	à	42,40
Alcool	5,2		5,6
Acidité totale	0,5		3,2
" volatile	0,2		0,5 (en acide acétique)

ou celui de FARWELL⁽⁶⁾ qui donne les limites de variation des meilleurs cidres d'un concours :

Alcool de	1,36	à	5,00
Acidité totale	4,1		7,8 (en acide malique)
" volatile	0,31		0,73
O ₅ P ₂	0,11		0,20

Dans une étude sur 12 cidres de la Manche, WARCOLLIER⁽⁷⁾ a trouvé :

	Minimum	Maximum
Densité	1000	1013
Acidité totale (en acide sulfurique) ..	1,66	3,38
Sucres totaux	2,2	28,0
Alcool total	5,5	7,8
Extrait réduit	17,9	31,3
Cendres	2,0	3,55
Tanins	1,36	5,04

Il donne comme composition chimique minima des cidres du Calvados :

Alcool	5°
Extrait réduit ..	17 g/l
Cendres	2 g/l.

2) Facteurs agissant sur la composition du cidre :

Ces variations globales étant connues, on s'est demandé quelles en étaient les causes. Celles-ci, ont de leur côté, été assez bien déterminées, mais sans pouvoir leur attribuer un effet précis.

C'est ainsi que CALDWELL⁽⁸⁾ note l'influence de la saison de récolte des pommes, qui entraîne, même dans une même localité et pour les mêmes variétés, des différences de composition. De même pour lui, le rapport Acidité/Sucres, dépendrait des conditions climatiques.

KAISER⁽⁹⁾ a particulièrement étudié l'influence de la levure sur la composition du cidre. Ainsi, dit-il, les quantités d'acide acétique produit varient avec l'espèce de la levure et l'acidité du milieu, les levures apiculées pouvant donner au delà de 1 g/l d'acide acétique. Il en est de même pour la production d'acide succinique.

RIBEREAU-GAYON et PEYNAUD (10) distinguent dans cet ordre d'idée les levures succinogènes, équilibrées, ou acétogènes suivant que le rapport Acide acétique/Acide succinique est inférieur à 0,8, compris entre 0,8 et 1,25 ou supérieur à 1,25. Ils distinguent aussi les levures glycologènes ou aglycologènes suivant que le rapport butylène glycol/glycérine est supérieur ou non à 0,07.

Comme eux DIERNER et KLEBER (11) admettent que la proportion de butylèneglycol formé est fonction de la levure, mais aussi des quantités utilisées et des conditions fermentaires.

TAYLOR et IRISH (12) notent aussi de leur côté que la composition du cidre et sa qualité sont fonction des variétés de pommes.

Par ailleurs, WARCOLLIER, à côté de ce facteur primordial, signale l'influence du sol, du climat, de l'exposition et enfin des méthodes de fabrication.

ARCHBOLD (13) a aussi étudié les variations de la composition chimique des pommes en fonction des facteurs environnants.

3) Recherche de la corrélation entre ces facteurs et la composition du cidre :

Si l'on veut trouver le lien entre ces causes de variation, de la composition du cidre et les variations elles-mêmes, nous avons déjà vu qu'il fallait absolument avoir recours aux méthodes statistiques; car on ne peut isoler un à un tous les facteurs comme l'on fait en physique ou même en chimie pour étudier un phénomène ou une réaction : dans les sciences agronomiques, ce n'est pas possible. Souvenons nous des facteurs mentionnés, comment pourrait-on expérimentalement les séparer. La complexité même de la matière première fournit d'autres sources de difficultés. C'est en effet un milieu mal défini, sur lequel il est par conséquent délicat de vouloir étudier des phénomènes bien définis. Dans certains cas, assez rares, on pourra les étudier en partant d'un milieu synthétique parfaitement connu, mais il faudra prendre garde à ne pas s'écarter de la réalité, et en tout cas, ne voir là qu'une facilité de travail, les résultats obtenus devant toujours être vérifiés avec les produits naturels.

Un premier pas cependant pour éclaircir la nature des liens entre les facteurs extérieurs et la composition du cidre a été fait en essayant de classer ces facteurs par ordre d'importance. C'est par exemple dans cet ordre d'idée que l'on a dit que la variété domine le cru; reprenant là d'ailleurs une opinion de de BOUTTEVILLE et HAUCHECORNE qui avaient déjà ébauché une analyse sommaire de ces causes de variation : "C'est donc bien au plant et au plant seul qu'appartient la faculté d'imprimer au cidre son goût propre, son cachet distinctif, comme c'est le sol, par l'imperfection ou l'insuffisance des éléments dont il est composé, l'exposition, par ses

conditions propices ou défavorables, et enfin, l'année, par sa constitution atmosphérique plus ou moins heureuse, qui détermine le degré de qualité auquel cette boisson peut atteindre; en un mot c'est le plant qui domine le cru".

WARCOLLIER analysa des cidres de nombreuses régions, faits avec une, deux ou plusieurs variétés de pommes et put ainsi préciser les caractères de certains cidres et les rattacher parfois à la région, au terroir.

PEARCE et BARKER⁽¹⁴⁾ ont étudié l'influence de la levure, Ils furent ainsi amenés à distinguer plusieurs phases dans la fermentation du cidre aux quelles correspondent vraisemblablement des levures différentes. Celles à pouvoir ferment élevé n'agiraient que dans les premiers stades, celles à pouvoir ferment faible, en fin de fermentation seulement; mais c'est à ce moment que les levures montrent le plus leur influence sur la constitution du cidre (arôme et bouquet). La nature des levures rencontrées dépendrait plus ou moins de la variété des pommes, de la région où poussent les fruits de la saison et enfin de l'usine où est fait le cidre. Ils signalent enfin dans leur mémoire, mais sans le faire, qu'il serait intéressant de déterminer l'importance relative à attribuer aux levures dans les différences de composition observées entre différents cidres.

Au point où nous en sommes nous voyons que divers savants ont assemblé de nombreux éléments pour étudier les variations de composition du cidre, mais n'ont encore pu les réunir, faute d'une technique appropriée. Nous sommes un peu, si l'on peut employer cette comparaison, comme un maçon qui a rassemblé les pierres pour construire une maison, mais à qui manquerait le ciment. Nous sommes donc assez peu avancés.

Cette technique appropriée va nous être fournie par la méthode statistique, qui permet, à condition de travailler sur un assez grand nombre d'échantillons, et avec certaines précautions, d'étudier un phénomène soumis à l'influence de plusieurs facteurs, sans avoir besoin de les éliminer tous sauf un.

Comment devons nous alors établir notre plan de travail ? Le problème est trop vaste pour vouloir essayer tout de suite de le résoudre dans son ensemble. Nous ne voulons qu'indiquer une méthode et en montrer la valeur par quelques exemples : Ils prouveront l'étendue des nouvelles perspectives ouvertes et la fécondité des résultats qui peuvent en découler.

Nous chercherons en premier lieu, d'une part l'influence de la qualité du cidre sur sa composition et d'autre part l'influence de divers facteurs extérieurs sur celle-ci : crus, variétés des pommes, espèce des levures.

Ensuite nous rechercherons s'il existe une corrélation entre les teneurs du cidre en divers constituants.

Enfin nous essaierons, à partir des résultats ainsi acquis, de déterminer la qualité d'un cidre uniquement par sa composition chimique, sans recourir à la dégustation.

Dans une première partie chimique, nous exposerons donc comment nous avons analysés nos cidres, l'organisation de nos recherches et les résultats trouvés.

La deuxième partie aura trait à l'interprétation statistique de ces résultats.

PREMIERE PARTIE

o o
o

CHAPITRE I

METHODES ANALYTIQUES APPLIQUEES AU DOSAGE DES DIVERS CONSTITUANTS DU CIDRE

Les éléments qui entrent dans la composition du cidre sont très nombreux, et nous dirons même qu'ils ne sont pas encore tous connus, ou tout au moins que la présence de certains n'est pas encore absolument prouvée.

Dans ces conditions, il aurait été vain de vouloir tout doser; et nous avons dû nous borner à quelques éléments seulement, les plus importants. Notre choix a d'ailleurs été guidé par deux considérations :

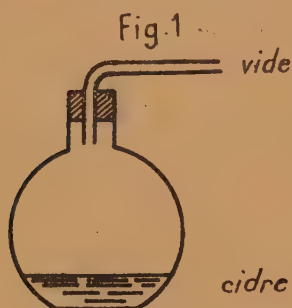
1) Les méthodes d'analyse que nous employons doivent être précises, car, si elles comportent une part d'erreur non négligeable, celle-ci est susceptible de masquer les variations des résultats dues aux facteurs envisagés : elles risqueraient d'être comprises dans les limites d'approximation. C'est ainsi que nous avons délibérément laissé de côté le dosage des pectines, qui dans le cas du cidre, et suivant le mode opératoire ne peut pas être donné avec une approximation inférieure à 100% et qui, même en suivant rigoureusement les mêmes méthodes est encore trop incertain.

2) Quand une bouteille de cidre est ouverte, l'analyse complète doit en être effectuée très rapidement, en raison de l'altérabilité du produit. Il faut s'attacher si possible à terminer le tout dans les 24 heures. Pour cette deuxième raison, nous avons encore laissé volontairement de côté les dosages trop longs. De même un travail comme celui-ci exigeant de faire de très nombreuses analyses, donc en série, s'oppose à des dosages trop délicats, à moins de travailler en équipe. Seul, j'ai dû me borner pour l'instant aux dosages les plus faciles, me réservant plus tard, de reprendre la question pour des corps, sans doute importants aussi, mais qu'il ne nous était pas possible de doser ici : acétylméthylcarbinol, 2-3 butylèneglycol, esters, alcools supérieurs, détail des acides organiques...

Quoiqu'il en soit, nous donnons encore pour chaque échantillon 17 nombres, résultants, soit de mesures physiques, soit de dosages chimiques, ou encore, déduits par le calcul de ceux-ci.

Nous allons maintenant les énumérer et décrire les méthodes nous permettant de les trouver.

1°) Densité : Nous la prenons simplement en plongeant dans environ 250 cc de cidre, ramenés à la température de 15°C, un densimètre gradué de 1000 à 1050, ou si besoin de 1050 à 1100. Ce



cidre aura au préalable été privé de son gaz carbonique de la manière suivante : 300 cc de cidre sont versés dans un ballon pyrex de 2 litres ou 2,5 litres à fond plat, dans lequel on fait le vide pendant environ 1/4 d'heure et en agitant fréquemment (Fig.1).

2°) Extrait sec : Il se dose en appliquant la méthode officielle : chauffage pendant 6 heures, au bain-marie à l'ébullition, de 20 cc de cidre placé dans une capsule tarée de platine, puis pesée de cette capsule, après refroidissement dans un exsiccateur.

La seule différence est que dans cette méthode on conseille de n'opérer que sur des cidres ne contenant pas plus de 10 grammes de sucre par litre, la présence de sucre gênant le départ de l'eau. S'il en est autrement, il faut les désucrer en les ensemençant de levures et poursuivent la fermentation à l'étuve jusqu'à ce taux maximum. Or nous montrerons précisément plus loin, que suivant les levures employées, l'extrait sec varie. Nous avons donc préféré ne pas désucrer les cidres, même trop riches.

3°) Extrait réduit : En déduisant de l'extrait sec ainsi trouvé les sucres totaux que nous verrons plus loin comment doser, l'on trouve l'extrait réduit.

4°) Cendres : Pour les doser, on porte au four à moufle électrique les capsules précédentes, contenant l'extrait sec; en chauffant doucement d'abord pour éviter les débordements puis progressivement jusqu'au rouge sombre, et on laisse à cette température jusqu'à poids constant. Après refroidissement au dessiccateur, une nouvelle pesée permet de déduire immédiatement la teneur du cidre en matière minérales.

5°) Tanins : Ceux-ci sont dosés par la méthode que NEGRE a mise au point dans sa thèse au sujet des vins (15) : précipitation à l'acétate de zinc ammoniacal, lavage du précipité séparé par centrifugation deux fois à l'eau ammoniacale, dissolution dans l'acide sulfurique dilué et titration par le permanganate de potassium en présence de carmin d'indigo.

Remarquons que cette méthode simple, si elle donne des

résultats constants, ne légitime peut-être pas le nom de tanins donné au résultat. En effet, d'une part ce que nous appelons tanins du cidre est assez mal défini, d'autre part, il nous semble que nous ne dosons pas ainsi tous les tanins, mais que par contre nous titrons aussi autre chose, par exemple certaines matières colorantes. Il serait peut-être plus judicieux d'indiquer ces résultats plus généralement comme "indice de permanganate". Toutefois, pour suivre la coutume, nous conserverons le nom de tanins.

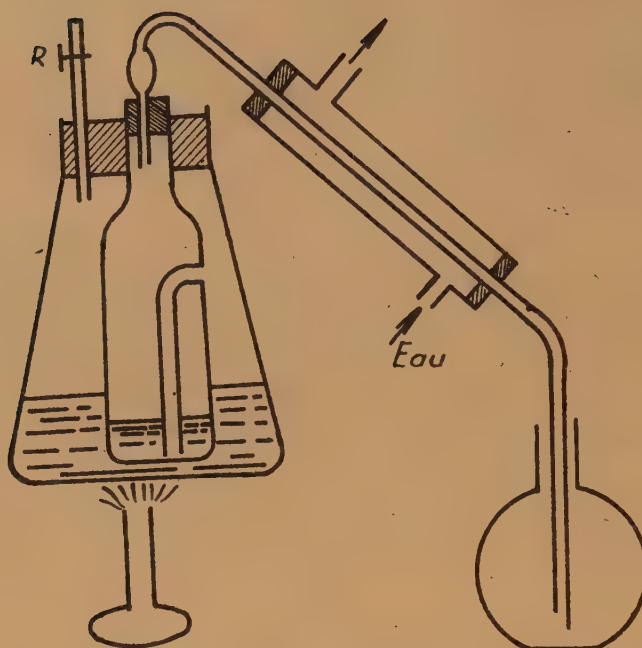
6°) Azote total : Nous ne différencions pas les différentes formes sous lesquelles l'azote peut se trouver dans le cidre, et nous nous contentons de doser en bloc l'azote total par la méthode de KJELDHAL : 25 cc de cidre sont préalablement évaporés presque à sec dans un matras de 300 cc, puis l'attaque est effectuée dans ce même matras par 5 cc d'acide sulfurique concentré en présence du catalyseur suivant : $50 \text{ SO}_4\text{Cu}$, $50 \text{ SO}_4\text{K}_2$, 1 Se . Sa durée varie considérablement suivant les échantillons entre un à huit jours. Vers la moitié environ, nous rajoutons 5 cc d'acide sulfurique (elle est ainsi plus rapide qu'en mettant directement 10 cc d'acide au début).

La deuxième partie du dosage (distillation) s'effectue en recueillant l'ammoniaque qui se dégage dans 2 cc de SO_4H_2 N/10, en présence d'alizarine, et titrant l'excès d'acide par la soude N/100 fraîchement préparée.

7°) Acidité totale : La méthode employée pour le dosage de l'acidité totale est celle rapportée par JAUMES au sujet de l'acidité des vins : On fait bouillir dans un petit bécier 50 cc d'eau distillée additionnée de quelques gouttes de phénomphtaléine pour chasser le gaz carbonique qui pourrait y être dissous. On neutralise alors par HONa N/10 et ajoute 5 cc de cidre privé de son gaz carbonique comme indiqué ci-dessus, et au besoin de son anhydride sulfureux par ébullition d'une demie-heure sous réfrigérant à reflux. On verse alors un nouveau volume de soude N/10 jusqu'à coloration rose pâle, soit n cc. L'acidité, exprimée en acide sulfurique, comme on a coutume de le faire en France est $0,98 \text{ n g/l}$.

8°) Acidité volatile : Elle se dose, selon le même auteur par la méthode CAZENAVE-FERRE. Dans un tube spécial, on introduit 10 cc de cidre privé de gaz carbonique et d'anhydride sulfureux. On le met dans un erlenmeyer pyrex de 500 cc. contenant 250 cc. d'eau distillée (fig 2). On porte à l'ébullition. Le robinet R étant ouvert, et au bout de quelques minutes, quand tout le gaz carbonique contenu dans l'eau a été chassé, on ferme ce robinet. La vapeur d'eau formée doit alors barbotter dans le cidre, maintenu lui-même à 100° , elle entraîne ainsi les acides volatils, vient se condenser dans le réfrigérant et est recueillie dans un ballon de 200 cc. On distille ainsi 100 cc environ. On titre à ce moment l'

Fig.2



acidité du distillat par HONa N/10 en présence de phénolphthaléine, soit n' cc. L'acidité volatile du cidre, encore exprimée suivant la coutume en acide sulfurique est $0,49 n'$ g/l.

9°) Acidité fixe : Nous la déduisons simplement par différence des deux résultats précédents :
 $\text{A.F.} = (0,98 n - 0,49 n') \text{ g/l.}$

10°) Alcool acquis : On appelle ainsi la richesse alcoolique réelle du cidre. Nous n'avons pas utilisé pour la mesurer la méthode officielle par distillation et prise de la densité, à l'alcoomètre du distillat, méthode assez longue, délicate et exigeant une quantité encore importante de matière première. Nous avons préféré la méthode chimique, par oxydation de l'alcool en éthanal au moyen du bichromate de potassium :

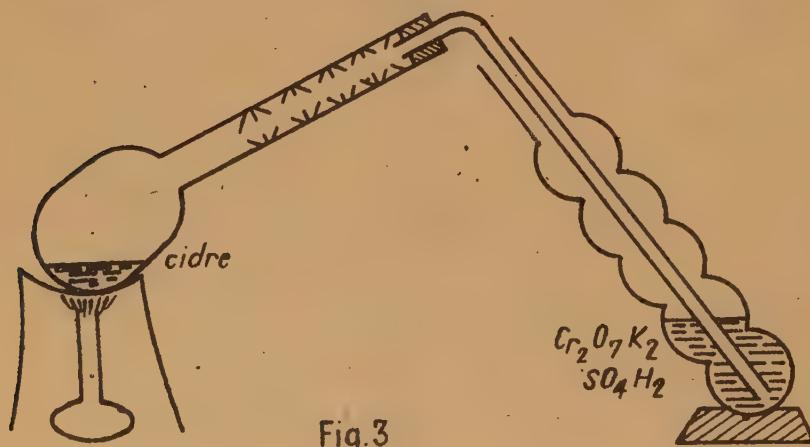


Fig.3

Le degré alcoolique du cidre est abaissé

à 0°3 environ par dilution convenable (au 1/10 ou au 1/200). On en prélève alors 10 cc que l'on met dans un micromatras dont le col est garni de pointes (Fig.3) pour régulariser l'ébullition et éviter les entraînements. On distille avec précaution pour éviter les absorptions, et recueille le distillat dans un tube à chenille de BOLDIN à 5 boules, le tube effilé d'arrivée plongeant jusqu'au fond. Le tube de BOLDIN contient un mélange de 25 cc de $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ à 8,5168 g/l et 10 cc de SO_4H_2 . On arrête la distillation quand 7 à 8 cc de cidre sont passés. On laisse refroidir le distillat, étend à 250 cc avec de l'eau distillée et titre sur 25 cc le bichromate en excès par de l'hyposulfite de sodium à 4,311 g/l en présence d'empois d'amidon et après avoir ajouté 5 cc d'iodure de potassium. Si n est le nombre de centimètres cube de $\text{S}_2\text{O}_3\text{Na}_2$ nécessaires pour avoir la décoloration, et d la dilution du cidre effectuée au début, la quantité d'alcool en grammes par litre, dans le cidre examiné, est

$$\frac{(25 - n) \times 2 \times 0,1}{d}$$

Si l'on veut exprimer la richesse alcoolique en degrés GAY-LUSSAC, on aura sensiblement :

$$\frac{(25 - n) \times 2 \times 0,1}{d \times 8}$$

Si la dilution avait été insuffisante, on s'en serait aperçu au fait que tout le bichromate aurait été réduit à l'état de sel de chrome, et aurait ainsi pris la teinte verte caractéristique.

11°) Alcool en puissance : On appelle ainsi la quantité d'alcool qui pourrait encore apparaître par fermentation complète des sucres restant dans le cidre. Elle se déduit donc de la quantité des sucres totaux par la formule empirique :

$$\text{Alcool en puissance} = (\text{sucres totaux en g/l} - 2) \times 0,06$$

12°) Alcool total : C'est simplement la somme de l'alcool acquis et de l'alcool en puissance.

13°) Sucres : Le cidre contient trois sucres : glucose, lévulose, saccharose. On sera donc amené à faire trois dosages successifs pour connaître séparément le taux de ces trois sucres. Nous avons choisi un dosage chimique des sucres réducteurs par la méthode de BERTRAND, le même dosage, mais après inversion du saccharose donne les sucres totaux, d'où par différence, le saccharose. Enfin un dosage polarimétrique, mais avant inversion, nous fournira la troisième équation nécessaire.

Avant n'importe lequel de ces dosages, le cidre devra être déféqué pour le priver des matières organiques qui pourraient gêner.

a) Défécation : 100 cc de cidre sont additionnés de 10 cc de sous acétate de plomb. On laisse reposer quelque temps et filtre sur Büchner. On vérifie qu'une nouvelle addition de sous acétate de plomb dans le filtrat ne donne plus lieu à la formation d'un précipité et si besoin, recommence les opérations. Celles-ci terminées, on lave le vase de précipitation et le filtre avec un jet d'eau distillée, élimine l'excès de plomb du filtrat par une pincée de bicarbonate de sodium. On laisse reposer et filtre à nouveau, sur filtre ordinaire. Comme précédemment, on vérifie, en ajoutant encore un peu de bicarbonate de sodium dans le filtrat, que tout le plomb a été éliminé, on lave, et complète le filtrat à un volume connu avec de l'eau distillée, le plus petit possible : 150 ou 200 cc. On en fait trois parts.

b) Dosage des sucres : A/ Sur une première part on fait une simple lecture polarimétrique, soit A la déviation observée, rapportée au cidre non dilué,

B/ Sur la deuxième, convenablement diluée, on titre les sucres réducteurs par la méthode de G. BERTRAND, soit p grammes pour cent le résultat.

C/ Dans la troisième, on intervertit le saccharose par la méthode CLERGET française : Dans un ballon jaugé de 50 cc on introduit 25 cc de cidre déféqué et avec précaution 1 cc d'acide chlorhydrique concentré, en agitant soigneusement pour qu'il n'y ait pas de fortes concentrations locales en acide à l'endroit où tombe la goutte, et prenant soin d'éviter les projections dues à l'effervescence provoquée par la décomposition du bicarbonate en excès. On place alors le ballon dans un bain-marie, dont on élève progressivement la température à 70° en 12 minutes. A ce moment, on retire du feu, laisse refroidir, et complète le volume à 50 cc avec de l'eau distillée, sans neutraliser l'acidité en excès, opération délicate, qui entraînerait presque toujours la perte d'une partie des sucres. On dilue alors comme la fraction précédente, et dose les sucres totaux par la méthode de BERTRAND, soit q grammes pour cent le résultat.

De ces trois résultats, on déduira les quantités des trois sucres :

$$\text{Le saccharose : } s \text{ } \text{‰} = (q - p) \times 0,95$$

$$\text{Le glucose : } g \text{ } \text{‰} = \frac{100 A - 2(66,5 s - 91 p)}{288,4}$$

$$\text{Le lévulose : } l \text{ } \text{‰} = p - g$$

La somme $g + l = p$ représente les sucres réducteurs,

La somme $g + l + s$ représente les sucres totaux.

14°) Nous avons enfin, dans nos cidres, recherché, sans jamais en avoir trouvé, la présence d'anhydride sulfureux par la méthode RIPPERT, pour O_2S total, et la méthode approchée du même auteur pour O_2S libre.

CHAPITRE II

ORGANISATION DES RECHERCHES

A/ Nous avons voulu d'abord examiner l'influence de la qualité sur la composition du cidre.

Mais tous les consommateurs n'aiment pas forcément les mêmes cidres et suivant les régions il est vraisemblable que les goûts varient. Notre premier but est donc de réunir des échantillons de diverses contrées, et de rechercher comment, pour chaque cru ainsi défini, varie la composition des cidres suivant leur qualité.

Nous profiterons de ces expériences pour déterminer, en même temps, les variations de composition suivant les régions, donc pour vérifier si, oui ou non, on peut distinguer des crus de cidre.

Nous nous sommes bornés pour l'instant à trois régions bien caractéristiques au point de vue cidricole : Pays d'Auge, Ille et Vilaine et Sarthe.

Le choix que nous avons ainsi été amenés à effectuer résulte de plusieurs considérations, qui ne pouvaient malheureusement pas toutes concorder.

Nous voulions des régions aussi homogènes que possible, comme sol, climat, production; donc assez restreintes géographiquement pour avoir plus de netteté dans les résultats.

Mais d'autre part, il fallait que chacune de ces régions fournisse un nombre suffisant d'échantillons. Nous avons donc été obligés de les étendre : En ce faisant on multiplie les causes de variation à l'intérieur de chaque région, qui entreront dans les incontrôlables, et augmenteront la variance résiduelle. Il faudra alors des différences assez importantes, dues strictement à l'effet de la région, pour les déclarer significatives. Par contre nous n'avons que des cidres de la même année (campagne 1946-1947).

Dans chacune de ces régions, nous avons organisé des concours de cidres : Nous avons demandé que chaque échantillon fut accompagné d'une fiche de renseignements qui en aurait précisé l'"histoire" : Variétés et proportions des pommes utilisées, grandes lignes de la fabrication; doses. nature du levain s'il y avait lieu, température et allure de la fermentation, durée, température de conservation des cidres, date des soutirages, etc...

Hélas, bien peu de producteurs ont compris l'intérêt qu'auraient pu nous fournir ces renseignements et nous les ont donnés. Les quelques uns épars, que nous avons recueillis ne présentent donc plus d'utilité et il nous semble inutile de les indiquer ici.

Nous avions demandé aussi aux cidriers qui participaient à ces concours d'envoyer, en même temps qu'au centre de dégustation un double de leurs échantillons au laboratoire pour que l'analyse soit effectuée en même temps que celle-ci, étant donnée l'altérabilité du cidre qui peut faire que sa qualité et sa composition varient entre le moment du concours et celui de l'analyse, pas un ne l'a fait.

Nous avons du alors nous contenter de ramener des échantillons du centre de dégustation et de vérifier au moment de l'analyse si le goût était conforme à celui de l'échantillon dégusté. Ce fut presque toujours le cas, sauf quelques exceptions que nous signalerons le moment venu.

De même que nous nous sommes bornés à trois régions, nous nous sommes limités à trois qualités de cidre. Il nous a semblé en effet difficile d'en définir avec précision davantage, aussi bien par la dégustation que comme nous le verrons plus tard, par l'analyse chimique, puisque, ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, nous n'avons pu doser que certains constituants et non la totalité. La composition du cidre, comme nous la déterminons, n'est donc pas le reflet exact de sa qualité, mais n'en est qu'une image plus ou moins floue : On ne peut attribuer une note exacte à chaque échantillon et l'on doit se contenter de les ranger en trois classes sans préciser leur ordre de mérite dans chaque classe. Nous verrons plus tard, s'il est possible de faire mieux.

B/ Notre deuxième objet a été de rechercher l'influence des variétés de pommes et des espèces de levures utilisées dans la fabrication du cidre, sur sa composition. Ceci permettra de voir si l'on peut jouer sur la qualité en modifiant ces facteurs.

Comme dans le premier cas, nous nous sommes contentés, jusqu'ici, d'étudier trois variétés de pommes et trois espèces de levures que nous avons choisies tout particulièrement.

a) Choix des pommes : Il y a trois variétés essentielles de pommes à cidre : de première, deuxième et troisième saison. Nous en avons choisi une de chacune en les prenant bien distinctes les unes des autres comme caractères.

Il fallait aussi, autant que possible, que les différences qu'elles présentaient ne proviennent que des différences de variétés et ne soient pas dues à des facteurs étrangers, tels que sol, climat, etc... Nous les avons donc demandées à un seul producteur

M. COUPEL, à Saint-Armel (Ille et Vilaine), qui avait de plus l'habitude de travailler souvent en rapport avec l'Ecole Nationale d'Agriculture de Rennes et en qui nous pouvions donc avoir toute confiance pour le soin qu'il mettrait à choisir et à cueillir ses fruits. Il nous a donc fourni les trois variétés suivantes : Bedan, Vilbéry et Damelot, provenant toutes de la récolte 1946. Ses vergers sont situés à 2 kilomètres environ à l'est de Saint-Armel, de part et d'autre de la route qui se dirige vers Nouvoitou, sur schistes précambriens, recouverts, sur un mètre environ, d'alluvions, au voisinage immédiat de la rivière (La Seiche).

b) Choix des levures : Dans un travail précédent sur les levures de cidre (16), nous avons montré qu'il était possible de classer sommairement ces levures en trois catégories, suivant la vitesse avec laquelle elles faisaient disparaître les sucres d'un milieu fermentescible. Dans chacune de ces catégories, on pouvait ensuite les différencier par d'autres caractères, secondaires à notre point de vue.

Fig 4

Caumont C₂



Fig 5

M 45 (2)



Fig 6

LB 3



Nous avons donc utilisé pour ces recherches une levure de chaque catégorie : Caumont C₂ qui attaque rapidement les sucres (Fig. 4).

M 45 (2) qui attaque les sucres à une vitesse modérée, mais jusqu'au bout (Fig. 5)

LB 3 qui attaque lentement les sucres et en laisse souvent dans le milieu, même après plusieurs mois de fermentation (Fig. 6).

Coloration au Bleu de Méthylène

c) Conduite de l'expérience : Les pommes que nous recevons à pleine maturité sont d'abord soigneusement triées pour éliminer les mauvaises, puis passées à la rape pour les réduire en bouillie assez fine : Cette pulpe est laissée une nuit, tassée dans des seaux, le cuvage favorisant l'extraction ultérieure du jus et permettant de retirer plus de substance de la pomme. Après ce laps de temps, elle est conduite à la presse hydraulique, et le jus recueilli réparti dans des flacons de verre de 10 litres, à raison de 5 litres dans chacun. On y ajoute 3 grammes de "pectoclarol", enzyme de clarification, qui hydrolyse les pectines jusqu'au stade d'acides galacturoniques. On introduit aussi 10 grammes de carbonate de chaux pulvérisé pour précipiter au besoin les pectines restantes sous forme de pectate de calcium. Pour ajouter ces substances, on

les délaye d'abord dans le minimum d'eau que l'on fait tiédir, puis l'on verse cette suspension dans nos flacons en agitant soigneusement et à plusieurs reprises.

On laisse reposer ainsi encore 12 heures, vers 20°C, un dépôt plus ou moins abondant se forme, que l'on sépare par centrifugation. Le jus clair obtenu est remis dans les mêmes flacons. Ceux ci bouchés au coton, sont alors tyndallisés par trois chauffages au bain-marie se succédant à 24 heures d'intervalle, la température à l'intérieur du jus décroissant du premier au dernier, et étant de 65°, 60°, 55°. On évite ainsi tout goût de cuit -(pectines éliminées, température de chauffage assez basse), et l'on obtient une bonne épuration bactériologique. En effet, s'il reste encore quelques germes, il ne pourront pas se développer ultérieurement quand nous auronsensemencé nos levures en quantité assez importante pour occuper le terrain.

Si nous avions voulu faire une véritable stérilisation, nous aurions modifié profondément la constitution chimique du moût par chauffage à haute température, ou en choisissant la filtration stérilisante, nous aurions été arrêtés par l'extrême lenteur du passage du jus de pommes à travers les bougies.

Les mouts ainsi obtenus sontensemencés aussitôt avec 150cc d'une culture de nos levures sélectionnées, jeunes et en pleine activité, dont la pureté absolue a été vérifiée au microscope.

Tous les flacons ainsi préparés sont alors mis à fermenter vers 20°C. On suit alors par des prélèvements stériles et des observations microscopiques le développement des levures et par la dégustation la transformation du moût en cidre. Quand nous jugeons que celui-ci est prêt, nous repassons le jus trouble, où s'est encore formé un dépôt, à la centrifugeuse, puis le soumettons à l'analyse.

Tous les essais, avec chaque pomme et chaque levure, sont répétés simultanément en plusieurs exemplaires, aussi identiquement que possible, de manière à pouvoir par la suite éliminer ainsi les causes incontrôlables et inconnues de variation, dues à d'autres effets que ceux étudiés.

Les résultats obtenus ne seront naturellement valables que pour les trois variétés de pommes et les trois espèces de levures étudiées. Il faut bien prendre garde à ne pas les étendre inconsidérément à toutes les pommes et toutes les levures.

Il est regrettable de devoir ainsi opérer en petit mais l'on conçoit que pour être sûr des variétés de pommes, des levures, et opérer en culture pure d'un bout à l'autre de la fabrication, on ne pouvait le faire en grand. KAISER signalait déjà cette difficulté

"Les opérations faites en petit sont très difficiles à conduire. Les propriétés du liquide fermenté ne sont en outre pas les mêmes et certainement les cidres auraient été bien meilleurs s'ils avaient pu être faits en plus grand". Aussi n'étudierons-nous pas sur cette série d'expérience les liens qui peuvent exister entre la qualité et la composition chimique du cidre.

CHAPITRE III

RESULTATS ANALYTIQUES

Il nous a semblé plus clair pour exprimer des résultats analytiques nombreux de les traduire par des graphiques que de les consigner seulement dans des tableaux de chiffres arides. Nous donnerons donc ici les deux représentations.

Chaque graphique représente les variations d'un élément donné pour une région donnée. Il y en a donc trois séries. Nous portons en ordonnée la valeur trouvée à l'analyse, en abscisse le numéro des cidres. Chacun est donc représenté par un rectangle de base toujours la même, et de hauteur proportionnelle à la teneur en l'élément considéré.

Nous ne respectons que les trois catégories : très bons, bons et mauvais, mais dans chacune nous rangeons les cidres suivant les valeurs décroissantes - ou croissantes - fournies par l'analyse : décroissantes si, en moyenne, les très bons sont plus riches en cette substance que les autres, croissantes, s'ils sont au contraire les plus pauvres.

Nous voyons qu'il n'y a aucune homogénéité entre les différents échantillons pour une même localité, aussi cette méthode nous semble-t-elle plus significative que celle qui aurait consisté à ranger tous les cidres dans l'ordre de classement que leur avait attribué le jury, puisque nous avons décidé de ne pas les considérer individuellement mais en classes. Cette représentation met en évidence, comme l'avait signalé KAISER, l'impossibilité de rapporter à un seul élément le choix du jury. Pour voir s'il est possible d'attribuer cependant une importance quelconque à un élément ou un autre, nous représentons aussi nos résultats par des diagrammes de fréquence. Nous rangeons tous nos résultats en classes. Dans chacune on trouve un certain nombre d'échantillons dont la teneur en l'élément considéré est justement comprise entre les valeurs limites de cette classe. En ordonnée nous représentons le nombre de cidres dans cette classe, mais les hachurons différemment suivant la qualité. Nous voyons ainsi, par un simple coup d'oeil, s'il y a groupement ou non dans une partie du diagramme, d'une des qualités.

L'échelle choisie en ordonnée est proportionnelle au nombre total des cidres de la population, de manière à avoir des surfaces égales pour chaque diagramme, quelle que soit la région, et pouvoir les comparer plus facilement.

Nous nous efforçons d'autre part, pour chaque région d'avoir le même nombre de classes et les mêmes limites pour celles-ci. Aussi, si ces deux conditions ne sont pas possibles simultanément pour tous les constituants, nous faisons deux graphiques : Un avec le même nombre de classes, l'autre avec les mêmes limites.

Ces modes de représentation sont utilisés pour les résultats des analyses de chaque cru. Pour les cidres que nous avons fabriqués nous-mêmes dans l'étude des pommes et des levures, et qui sont moins nombreux, nous nous contentons de les indiquer uniquement dans les tableaux ordinaires.

TABLEAU I

ANALYSE DES CIDRES DU PAYS D'AUGE (Vimoutiers)

	Numéro	Extrait sec	Extrait réduit	Cendres	Tanins	Azote	Acidité totale	Acidité volatile
1 ^o Cat.	2	120,880	42,580	2,215	0,58	38,5	2,45	0,07
	3	109,375	30,275	0,720	1,88	21,3	2,74	0,22
	23	86,495	23,095	1,690	0,54	28,8	2,74	0,59
	24	87,910	24,610	1,115	0,50	17,5	2,16	0,29
2 ^o Cat.	28	61,140	25,240	1,170	0,50	25,0	2,06	0,59
	29	73,060	41,760	0,420	2,17	27,2	1,76	0,51
	108	58,335	24,835	0,495	1,04	28,0	2,25	0,39
	30	69,160	24,060	0,415	1,42	49,0	2,65	0,34
	106	76,480	33,080	0,455	0,96	28,0	1,76	0,44
3 ^o Cat.	105	58,010	32,610	0,805	1,13	21,3	2,55	0,44
	1	69,740	32,140	0,870	0,17	56,0	2,65	0,51
	45	70,945	29,045	0,830	1,71	38,5	1,86	0,24
	110	63,095	35,495	0,445	1,25	42,0	3,23	1,03
	34	63,580	23,580	0,375	1,50	21,3	3,14	1,27
	16	65,285	31,585	0,650	1,00	25,0	1,27	0,32
	Numéro	Acidité fixe	Alcool acquis	Alcool en puissance	Alcool total	Glucose	Lévulose	Saccharose
1 ^o Cat.	2	2,38	2,09	4,58	6,67	16,8	59,4	2,1
	3	2,52	1,34	4,63	5,97	14,3	58,5	6,3
	23	2,15	2,07	3,68	5,76	13,4	46,6	3,4
	24	1,87	3,29	3,62	6,91	11,7	46,5	4,1
2 ^o Cat.	28	1,47	3,00	2,27	5,27	1,9	32,6	1,4
	29	1,25	1,70	1,76	3,46	1,9	29,1	0,3
	108	1,86	4,20	1,93	6,13	4,5	27,2	2,4
	30	2,31	3,15	2,59	5,74	6,8	36,6	1,7
	106	1,62	2,80	2,48	5,28	7,6	35,6	0,2

	Numéro	Acidité fixe	Alcool acquis	Alcool en puissance	Alcool total	Glucose	Lévéulose	Saccharose
3 ^o Cat.	105	2,11	4,10	1,40	5,50	2,6	22,0	0,8
	1	2,14	3,71	2,14	5,85	2,8	33,9	0,9
	45	1,62	3,77	2,39	6,16	4,2	36,4	1,3
	110	2,20	3,00	1,54	4,54	2,9	20,7	4,0
	34	1,67	2,80	2,28	5,08	4,0	28,8	7,2
	16	0,95	2,25	1,90	4,15	6,1	26,7	0,9

	Numéro	Sucres réducteurs	Sucres totaux	Densité	Note du jury	Provenance
1 ^o Cat.	2	76,2	78,3	1044	19	Vimoutiers
	3	72,8	79,1	1041	18	Livarot
	23	60,0	63,4	1025	17	N-Dame de Courson
	24	58,2	62,3	1033	16,5	-id-
2 ^o Cat.	28	34,5	35,9	1023	16	St André d'Hébertot
	29	31,0	31,3	1028	16	-id-
	108	31,7	34,1	1021	14	Avernes sous Exmes
	30	43,4	45,1	1027	14	St Pierre de Mailloc
	106	43,2	43,4	1028	13,5	Crouttes (par Vimoutiers)
3 ^o Cat.	105	24,6	25,4	1021	13	Le grand village (Tiche-ville)
	1	35,7	37,6	1025	12,5	St Pierre la Rivière
	45	40,6	41,9	1026	12	?
	110	23,6	27,6	1024	10	La Chapelle Gauthier
	34	32,8	40,0	1025	10	-id-
	16	32,8	33,7	1027	-	Vimoutiers

TABLEAU II

ANALYSE DES CIDRES DE LA SARTHE (Le Mans)

	Numéro	Densité	Extrait sec	Extrait réduit	Cendres	Tanins	Azote	Acidité totale
1 ^o Cat.	3	1033	83,590	20,080	1,255	0,84	19,6	2,20
	7	1038	90,460	13,460	0,500	0,92	22,1	1,57
	8	1026	76,950	25,700	1,380	0,52	23,1	3,33
2 ^o Cat.	2	1018	49,590	20,290	1,625	0,68	28,6	3,30
	6	1013	38,690	16,490	1,195	0,80	10,1	2,25
	9	1020	58,215	17,115	0,595	0,76	10,5	2,94
	10	1013	52,765	25,305	1,260	1,40	26,6	3,14
	13	1009	42,215	33,545	1,456	0,44	43,4	4,56
	14	1024	66,485	21,575	0,585	0,52	29,4	2,89
	15	1026	74,130	26,530	1,535	0,32	32,4	3,04

	Numéro	Densité	Extrait sec	Extrait réduit	Cendres	Tanins	Azote	Acidité totale
3 ^o Cat.	1	1012	43,030	23,260	1,065	0,88	26,9	4,21
	4	1006	23,300	16,460	0,950	0,72	26,3	2,25
	5	1005	22,520	16,750	0,985	0,84	23,5	2,16
	11	1002	21,900	20,520	1,445	0,96	31,5	3,23
	12	1017	48,075	24,325	1,170	1,00	45,5	2,74
	16	1008	42,515	32,515	1,820	0,54	25,9	4,61

	Numéro	Acidité volatile	Acidité fixe	Alcool acquis	Alcool en puissance	Alcool total	Glucose	Levulose
1 ^o Cat.	3	0,50	0,61	1,67	3,69	5,36	10,40	52,22
	7	0,44	1,13	1,44	4,50	5,94	14,68	50,52
	8	1,22	2,11	5,73	2,95	8,68	5,84	44,56
2 ^o Cat.	2	1,67	1,63	4,46	1,64	6,10	1,18	28,12
	6	0,83	1,42	4,82	1,21	6,03	1,79	20,41
	9	1,18	1,76	4,18	2,35	6,53	4,01	37,09
	10	0,69	2,45	7,45	1,50	8,95	0,04	26,72
	13	0,39	4,17	8,51	0,40	8,91	0,62	7,58
	14	0,73	2,16	5,32	2,57	7,89	5,78	37,52
	15	1,22	1,82	4,74	2,74	7,48	2,30	45,30
3 ^o Cat.	1	1,74	2,47	6,93	1,07	7,00	1,47	18,30
	4	1,10	1,15	5,83	0,29	6,12	0,15	6,21
	5	0,83	1,33	3,93	0,23	4,16	0,26	5,51
	11	1,42	1,81	6,54	0,00	6,54	0,00	1,29
	12	0,39	2,35	5,37	1,30	6,67	2,59	21,16
	16	2,16	2,45	6,87	0,48	7,35	2,69	7,31

	Numéro	Saccharose	Sucres réducteurs	Sucres totaux	Note du jury	Provenance
1 ^o Cat.	3	0,89	62,62	63,51	18	Joué l'abbé
	7	1,80	75,20	77,00	17	Fresnay sur Sarthe
	8	0,85	50,40	51,25	14	Beaumont sur Sarthe
2 ^o Cat.	2	0,00	29,30	29,30	11,5	Oizé
	6	0,00	22,20	22,20	11,5	-id-
	9	0,00	41,10	41,10	11	Trangé
	10	0,20	26,76	26,96	10	Maisoncelles
	13	0,47	8,20	8,67	10	?
	14	1,61	43,30	44,91	10	Evailié
	15	0,00	47,60	47,60	9,5	-id-
3 ^o Cat.	1	0,00	19,77	19,77	9	Moulins-le-Carbonnel
	4	0,48	6,36	6,84	6	Maison neuve
	5	0,00	5,77	5,77	6	-id-
	11	0,09	1,29	1,38	5	Le Mans
	12	0,00	23,75	23,75	8	Bonnéttable
	16	0,00	10,00	10,00	9	Eveillé

TABLEAU III

ANALYSE DES CIDRES D'ILLE et VILAINE (Rennes)

	Numéro	Densité	Extrait sec	Extrait réduit	Cendres	Tanins	Azote	Acidité totale
1 ^o catégorie	1	1021	53,740	13,740	0,630	0,58	45,5	2,30
	30	1020	107,595	69,835	0,720	1,08	35,0	1,60
	35	1024	66,820	25,170	0,840	1,08	15,7	2,00
	27	1019	60,850	28,650	2,815	1,50	21,0	1,90
	29	1010	34,740	17,900	0,420	1,00	17,5	1,90
	37	1010	36,675	21,245	0,750	1,63	28,0	2,34
	20	1013	32,465	15,615	0,420	1,88	21,0	1,25
	33	1016	49,885	21,325	0,540	1,13	17,5	1,70
	16	1009	28,595	12,295	0,245	0,50	24,5	1,40
	18	1011	30,840	13,500	0,365	0,63	22,5	1,60
	9	1010	22,785	8,595	1,505	0,21	35,0	1,05
	28	1003	22,865	17,275	0,550	1,00	24,5	1,90
	25	1009	33,725	18,905	0,580	0,79	24,5	2,00
	5	1012	42,615	16,595	0,440	0,33	42,0	0,70
2 ^o catégorie	17	1008	20,030	9,170	0,315	0,21	10,5	1,10
	26	1005	22,595	15,125	0,450	1,63	38,5	1,90
	6	1008	17,715	7,815	0,120	0,42	70,0	1,06
	19	1007	15,870	7,220	0,200	0,75	33,0	1,50
	24	1005	13,640	6,620	0,305	0,62	21,0	1,00
	7	1007	26,495	16,145	0,695	1,92	26,0	2,40
	3	1013	32,880	10,370	0,360	0,21	28,0	1,00
	38	1008	31,020	25,270	0,740	1,04	38,5	4,23
	36	1009	39,610	13,390	0,665	0,96	24,5	2,04
	15	1013	28,725	12,055	0,375	0,63	31,5	0,90
	31	1018	49,940	18,640	0,620	2,46	31,5	1,60
	21	1003	12,030	11,110	0,390	1,21	49,0	1,20
	34	1015	42,465	16,795	0,435	0,75	17,5	1,80
	23	1005	11,195	7,235	0,225	0,75	91,0	0,95
	39	1005	25,255	22,155	0,530	1,04	10,5	2,75
3 ^o catégorie	10	1005	17,550	12,350	0,455	1,33	42,0	1,55
	4	1010	25,840	10,280	0,655	0,33	28,0	1,60
	41	1009	33,505	19,935	0,575	1,64	38,5	2,39
	8	1003	12,355	10,225	0,365	1,90	66,0	1,90
	32	1001	17,560	16,710	0,655	1,71	24,5	3,20
	2	1000	14,380	9,850	0,525	0,46	42,0	1,30
	22	1001	15,380	15,130	0,635	1,33	24,5	1,65
	40	1005	28,255	25,445	0,575	1,08	31,5	2,75
	42	1001	17,650	15,990	0,570	1,96	31,5	5,50

	Numéro	Acidité volatile	Acidité fixe	Alcool acquis	Alcool en puissance	Alcool total	Glucose	Lévalose
1 ^{re} Catégorie	1	0,70	1,60	3,24	2,28	5,52	7,90	32,10
	30	0,35	1,25	3,94	2,14	6,08	4,04	31,83
	35	0,45	1,55	4,24	2,38	6,62	11,65	29,15
	27	0,25	1,65	4,34	1,81	6,15	3,62	27,68
	29	0,50	1,40	4,48	0,89	5,37	0,07	16,63
	37	0,66	1,68	5,64	0,81	6,45	0,31	14,74
	20	0,35	0,90	2,16	0,89	3,05	2,33	14,35
	33	0,52	1,18	3,89	1,59	5,48	0,61	26,29
	16	0,30	1,10	2,79	0,86	3,65	1,62	14,34
	18	0,32	1,28	2,46	0,92	3,38	1,94	14,78
	9	0,50	0,55	1,72	0,73	2,45	0,05	9,55
	28	0,37	1,53	5,74	0,22	5,96	0,72	4,52
	25	0,50	1,50	4,55	0,77	5,35	0,49	13,26
	5	0,20	0,50	1,52	1,44	2,96	2,91	22,54
2 ^{de} Catégorie	17	0,17	0,93	1,94	0,53	2,47	1,48	9,38
	26	0,65	1,25	4,24	0,33	4,57	0,38	7,09
	6	0,60	0,46	2,06	0,47	2,53	0,34	8,91
	19	0,25	1,25	1,92	0,40	2,32	1,64	7,01
	24	0,35	0,65	1,93	0,30	2,23	0,28	6,59
	7	0,45	1,95	4,75	0,49	5,24	1,38	8,34
	3	0,35	0,65	1,24	1,23	2,47	2,65	18,25
	38	0,25	3,98	5,84	0,22	6,06	1,53	3,42
	36	0,74	1,30	4,33	0,85	5,18	0,16	14,14
	15	0,75	0,15	1,75	0,88	2,63	1,57	14,84
	31	0,60	1,00	3,61	1,76	5,37	3,28	28,02
	21	0,40	0,80	2,77	0,00	2,77	0,14	0,69
	34	0,30	1,50	2,97	1,42	4,39	1,71	22,44
	23	0,40	0,55	1,40	0,12	1,52	0,61	3,18
	39	0,69	2,06	6,35	0,07	6,42	0,84	1,94
3 ^e Catégorie	10	0,40	1,15	4,55	0,19	4,74	0,59	4,61
	4	0,65	0,95	1,83	0,81	2,64	1,98	11,87
	41	0,71	1,68	5,79	0,69	6,48	1,42	11,88
	8	0,80	1,10	3,25	0,01	3,26	0,44	1,10
	32	1,20	2,00	6,70	0,00	6,70	0,20	0,58
	2	0,75	0,55	2,83	0,15	2,98	0,02	4,51
	22	0,70	0,95	3,33	0,00	3,33	0,00	0,25
	40	0,71	2,04	5,94	0,05	5,99	0,62	1,93
	42	1,02	4,48	6,65	0,00	6,65	0,15	1,22

	Numéro	Saccharose	Sucres réducteurs	Sucres totaux	Note du jury	Provenance
1 ^o Catégorie	1	0,00	40,00	40,00	18	Chancé
	30	1,79	35,87	37,66	18	Piré sur Seiche
	35	0,85	40,80	41,65	17	Baguer-Morvan
	27	0,90	31,30	32,20	17	Montfort sur Meu
	29	0,14	16,70	16,84	17	Piré sur Seiche
	37	0,38	15,05	15,43	16	Baguer-Morvan
	20	0,17	16,68	16,85	15	Miniac-Morvan
	33	1,66	26,90	28,56	15	Chaumeré
	16	0,34	15,96	16,30	14	Chancé
	18	0,62	16,72	17,34	14	Piré sur Seiche
	9	0,59	13,60	14,19	14	Baguer-Morvan
	28	0,35	5,24	5,59	14	Piré sur Seiche
	25	1,13	13,74	14,82	14	-id-
	5	0,57	25,45	26,02	13,5	-id-
2 ^o Catégorie	17	0,00	10,86	10,86	13	-id-
	26	0,00	7,47	7,47	13	St-Etienne en Coglès
	6	0,65	9,25	9,90	13	Leucausse
	19	0,00	8,65	8,65	12	Miniac-Morvan
	24	0,15	6,87	7,02	12	Piré sur Seiche
	7	0,53	9,72	10,25	12	Luitré
	3	1,61	20,90	22,51	11	Meulins
	38	0,80	4,95	5,75	11	Boistrudan
	36	0,92	14,30	16,22	11	St-Etienne en Coglès
	15	0,26	16,41	16,67	8	Miniac-Morvan
	31	0,00	31,30	31,30	8	Lanhelin
	21	0,09	0,83	0,92	8	St-Georges Reintembault
	34	1,52	24,15	25,67	8	Piré sur Seiche
	23	0,17	3,79	3,96	8	Javené
	39	0,32	2,78	3,10	8	Parigné
3 ^o Catégorie	10	0,00	5,20	5,20	7	Miniac-Morvan
	4	1,71	13,85	15,56	7	Baguer-Morvan
	41	0,27	13,30	13,57	7	Antrain/Couesnon
	8	0,59	1,54	2,13	6	St-Ouen la Rouairie
	32	0,07	0,78	0,85	6	St Georges Reintembault
	2	0,00	4,53	4,53	6	Baguer-Morvan
	22	0,00	0,25	0,25	6	St Georges Reintembault
	40	0,26	2,55	2,81	6	Parigné
	42	0,29	1,37	1,66	0	Beaucé

TABLEAU IV

ANALYSE DES MOUTS ET DES CIDRES FAITS AU LABORATOIRE

	Numéro	Densité	Extrait sec	Extrait réduit	Cendres	Tanins	Azote	Acidité totale	Levure
	1	1072	132,215	42,615	3,210	1,00	109,45	0,22	-
BEDAN	2	1018	56,830	29,43	3,350	0,17	25,00	1,67	Caumont C2
	3	1018	54,945	28,845	3,175	0,25	33,00	1,67	"
	4	1028	85,685	36,305	1,295	0,29	21,00	1,98	M 45 (2)
	5	1045	123,015	50,965	1,200	0,16	14,00	4,26	"
	6	1053	128,64	31,640	3,975	0,38	99,5	0,49	-
VILBERY	7	1003	24,770	22,170	1,265	0,53	28,0	1,19	Caumont C2
	8	1006	27,575	23,295	4,595	0,69	17,5	2,57	"
	9	1005	25,645	21,645	1,210	0,49	21,0	1,39	"
	10	1006	23,815	21,785	1,200	0,53	21,0	1,19	"
	11	1021	59,070	25,370	1,095	0,33	14,0	1,98	M 45 (2)
	12	1043	106,785	26,315	2,730	0,49	14,0	3,96	"
	13	1031	76,990	28,010	1,420	1,06	14,0	2,47	"
	14	1031	79,800	27,950	1,985	0,70	21,0	2,03	"
	15	1033	80,060	28,770	1,955	0,53	14,0	2,28	LB 3
	16	1030	76,490	28,240	1,380	0,61	10,5	2,37	"
	17	1047	119,300	30,540	1,280	0,90	10,5	1,78	"
DAMELOT	18	1065	168,820	31,090	1,420	0,27	77,0	0,60	-
	19	1020	57,775	26,275	2,195	0,33	25,2	2,74	Caumont C2
	20	1021	60,010	24,740	1,400	0,33	19,3	2,45	"
	21	1013	43,515	25,645	1,565	0,29	19,0	2,65	"
	22	1054	141,835	20,895	1,600	0,25	22,4	2,74	M 45 (2)
	23	1052	127,030	25,700	1,730	0,17	34,7	6,76	"
	24	1046	119,715	23,095	1,670	0,29	21,8	1,13	"
	25	1056	147,260	26,000	1,550	0,33	34,2	3,41	LB 3
	26	1064	161,925	26,345	1,700	0,15	20,2	0,78	"
	27	1060	154,300	24,720	1,275	0,33	15,1	2,96	"



vers Rennes
(14 km)

vers
Cotelay

Vers
Nouvoitan

Les 3
chênes

La
Coudrais

vers
Bourgbarré

vers
Epron

- 48°



Rte Natle N°163
de Rennes à
Angers

vers
Martigné-Ferchaud

	Numéro	Acidité volatile	Acidité fixe	Alcool acquis	Alcool en puissance	Alcool total	Glucose	Levure
BEDAN	1	0,15	0,07	0,04	8,26	8,30	15,5	-
	2	0,40	1,27	5,55	1,52	7,07	2,4	Caumont C2
	3	0,30	1,37	5,80	1,45	7,25	2,0	"
	4	1,03	0,95	5,22	2,91	8,13	4,8	M 45 (2)
	5	2,89	1,37	4,06	4,20	8,26	0,95	"
VILBERY	6	0,17	0,32	0,16	5,70	5,86	26,30	-
	7	0,20	0,99	5,22	0,03	5,25	0,26	Caumont C2
	8	0,20	2,37	4,86	0,02	4,88	0,50	"
	9	0,27	1,12	5,24	0,12	5,36	0,74	"
	10	0,20	0,99	5,04	0,00	5,04	0,63	"
	11	0,93	1,05	3,16	1,40	4,56	5,55	M 45 (2)
	12	2,89	1,07	0,69	4,71	5,40	22,57	"
	13	1,05	1,42	1,63	2,82	4,45	10,15	"
	14	0,50	1,58	1,49	2,99	4,48	10,71	"
	15	1,03	1,25	1,39	2,96	4,35	11,76	LB 3
DAMELOT	16	2,01	0,86	1,24	2,77	4,01	9,06	"
	17	0,98	0,80	0,31	5,21	5,52	28,80	"
	18	0,20	0,40	0,11	8,14	8,25	12,80	
	19	0,61	2,13	4,17	1,77	5,94	1,85	Caumont C2
	20	0,37	2,08	5,68	2,00	7,68	4,92	"
	21	0,27	2,38	6,91	0,95	7,86	1,40	"
	22	2,16	0,58	0,92	7,14	8,06	35,81	M 45 (2)
	23	5,68	1,08	1,26	5,96	7,22	20,72	"
	24	1,18	1,47	2,31	5,68	7,99	21,85	"
	25	3,41	0,36	0,58	7,16	7,74	36,76	LB 3
	26	0,78	2,36	0,24	8,01	8,25	39,86	"
	27	2,96	0,47	0,35	7,65	8,00	37,78	"

	Numéro	Lévulose	Saccharose	Sucres réducteurs	Sucres totaux	Levure
BEDAN	1	109,30	14,80	124,80	139,60	-
	2	19,80	5,20	22,20	27,40	Caumont C2
	3	16,30	7,80	18,30	26,10	"
	4	44,30	0,38	49,10	49,48	M 45 (2)
	5	70,25	0,85	71,20	72,05	"
VILBERY	6	57,80	12,90	84,10	97,00	-
	7	1,90	0,40	2,20	2,60	Caumont C2
	8	1,40	0,38	1,90	2,28	"
	9	2,87	0,39	3,01	4,00	"
	10	1,11	0,29	1,74	2,03	"
	11	28,15	0,00	33,70	33,70	M 45 (2)
	12	57,63	0,27	30,20	80,47	"
	13	38,55	0,28	48,70	48,98	"
	14	44,19	0,95	50,90	51,85	"
	15	39,39	0,14	51,15	51,29	LB 3
DAMELOT	16	38,24	0,95	47,30	48,25	"
	17	59,20	0,76	88,00	88,76	"
	18	76,61	23,00	111,73	137,73	-
	19	28,70	0,95	30,55	31,50	Caumont C2
	20	29,78	0,57	34,70	35,27	"
	21	15,95	0,52	17,35	17,87	"
	22	81,64	3,49	77,45	120,94	M 45 (2)
	23	76,48	4,13	97,20	101,33	"
	24	72,35	2,42	94,20	96,62	"
	25	82,88	1,64	119,62	121,26	LB 3
	26	89,59	6,13	129,45	135,58	"
	27	81,47	10,33	119,25	129,58	"

N.B. Tous les résultats de ces tableaux sont indiqués en grammes par litre (pour les acidités en acide sulfurique), sauf ceux relatifs à l'azote qui le sont en milligrammes, et ceux relatifs aux teneurs en alcool qui le sont en degré.

DEUXIEME PARTIE

o o
o

INTERPRETATION STATISTIQUE DES RESULTATS

Etant en possession de ces résultats, nous allons rechercher maintenant les indications que nous pouvons en retirer.

Comme nous l'avons déjà indiqué, celles-ci peuvent se rattacher à trois ordres d'idées, que nous étudierons donc en trois chapitres distincts.

En comparant les résultats analytiques des cidres de chaque cru et de chaque qualité, nous verrons en premier lieu si ces facteurs influent sur leur composition. Nous rechercherons aussi grâce aux cidres que nous avons fabriqués nous-mêmes, l'influence des pommes et des levures sur cette composition et supposant, que ces causes de variation ne sont pas toujours indépendantes, nous chercherons aussi à vérifier cette hypothèse en déterminant si les effets de l'une sont modifiés sous l'influence de l'autre, c'est à dire s'il y a une interaction significative.

Ensuite, nous chercherons à mettre en évidence l'existence d'une relation entre les teneurs trouvées pour tous les éléments dosés, et s'il en existe une, nous la préciserons en calculant le coefficient ou le rapport de corrélation correspondant. Si cette corrélation est linéaire et fortement significative, nous calculerons même les équations des droites de régression qui doivent permettre de déduire la teneur en un élément, connaissant celle de l'autre.

Enfin dans un troisième chapitre, nous nous efforcerons, à partir de ces données, de résoudre le problème principal, selon une méthode entièrement nouvelle; c'est-à-dire que nous essaierons de définir la qualité des cidres uniquement par leur composition: Puisque nous aurons trouvé dans la première partie des différences significatives dans la composition des cidres suivant leur qualité, nous chercherons si la réciproque est possible, et si, en nous basant sur ces différences, on peut retrouver les différences de qualité.

Tous les calculs que nous allons effectuer ici présupposent que la répartition de nos résultats d'analyse est gaussienne. Etant donnée la faiblesse relative de nos échantillonnages, cette hypothèse n'est pas à tester ici, car l'on peut toujours, dans une population peu abondante la considérer, en première approximation comme suffisamment vérifiée.

CHAPITRE I

RELATION ENTRE LA CONSTITUTION DES CIDRES ET LES FACTEURS EXTERIEURS

A/ COMPOSITION, CRU et QUALITE.

En considérant les diagrammes de fréquence précédents, il apparaît déjà nettement que, pour certains éléments, suivant la qualité du cidre ou la région de production, les valeurs trouvées à l'analyse sont différentes.

Cette impression première doit être vérifiée. Pour cela nous considérerons tous nos échantillons de cidres comme issus d'une population unique et nous vérifierons si cette hypothèse est exacte ou non, en cherchant si la répartition de ces échantillons en classes par qualité et région introduit une dispersion des moyennes, par rapport à la moyenne générale, supérieure à celle à laquelle on est en droit de s'attendre du seul fait du hasard.

C'est le problème classique d'analyse de la variance. Pour chaque élément considéré, les calculs seront les mêmes. Nous en indiquerons donc le principe seulement, mais il sera inutile ici de les rapporter tous, nous nous bornerons, à titre d'exemple, à en effectuer un seul en entier, et nous donnerons uniquement les résultats des autres. Si le détail des calculs intéresse le lecteur, nous les tenons à sa disposition sur simple demande.

Notations : Soit x_{lqr} un résultat quelconque pour la qualité Q et la région R ,
 $\bar{x}$ la moyenne générale de tous les résultats,
 $\bar{x}_{qr}$ la moyenne des résultats pour une qualité Q donnée et une région R donnée,
 $\bar{x}_q$ la moyenne des résultats pour les cidres de qualité semblable Q de toutes les régions,
 $\bar{x}_r$ la moyenne des résultats pour tous les cidres d'une même région R quelle que soit la qualité,
 N le nombre total d'individus dans la population,
 n_{qr} le nombre d'individus pour une qualité Q donnée et une région R donnée,
 n_q le nombre d'individus pour les cidres de qualité Q semblable de toutes les régions,

- n_r le nombre d'individus pour tous les cidres d'une même région R quelle que soit la qualité,
 R le nombre de régions
 Q le nombre de qualités,
 X le total général des mesures
 X_{qr} " " des mesures pour une qualité Q donnée et une région R donnée,
 X_{q_1} le total des mesures pour les cidres de qualité semblable Q_1 de toutes les régions
 X_{r_1} le total des mesures pour tous les cidres d'une même région R_1 quelle que soit la qualité

Nous avons vu qu'il était permis de supposer ici que la variable x est toujours gaussienne, l'effet des causes contrôlées, c'est-à-dire des régions ou des qualités est éventuellement de modifier sa moyenne, mais en laissant sa variance σ^2 inchangée. On pourrait vérifier cette deuxième hypothèse par exemple par le test de BARTLETT, nous avons jugé inutile de le faire ici.

L'étude de l'analyse de la variance se fera en trois étapes. Nous chercherons d'abord si l'ensemble des échantillons peut être considéré comme appartenant à une même population, puis, et dans le cas d'une réponse négative seulement, à quelle cause, région ou qualité (ou aux deux) doit être attribuée l'hétérogénéité observée, enfin, encore dans ce cas seulement, si ces deux causes sont ou non indépendantes, c'est-à-dire s'il y a interaction.

1°) TEST D'HOMOGENEITE.

Nous considérons ici, sans différentier les causes région et qualité, que nous avons $Q \times R = 9$ échantillons, et nous demandons si l'on peut admettre qu'ils sont issus d'une population unique.

La variance totale peut être décomposée en plusieurs facteurs, nous avons en effet en considérant la somme des carrés des variations :

$$(1) \sum_i \sum_q \sum_r (x_{iqr} - \bar{x})^2 = \sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2 + \sum_i \sum_q \sum_r (x_{iqr} - \bar{x}_{qr})^2$$

avec respectivement comme degrés de liberté :

$$N - 1 = Q \times R - 1 + N - Q \times R$$

et en remarquant que, pour le calcul :

$$\sum_i \sum_q \sum_r (x_{iqr} - \bar{x})^2 = \sum_i \sum_q \sum_r x_{iqr}^2 - N\bar{x}^2 \quad \text{et ;}$$

$$\sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2 = \sum_q \sum_r \bar{x}_{qr} x_{qr} - N \bar{x}^2$$

En appelant alors : $s_{qr}^2 = \frac{\sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2}{QR - 1}$;

$$s_e^2 = \frac{\sum_i \sum_q \sum_r (x_{igr} - \bar{x}_{igr})^2}{N - QR}$$

ou $\frac{\sum d^2}{N - QR}$ les variances entre échantillons et résiduelles, on forme le rapport s_{qr}^2/s_e^2 et s'il est supérieur aux valeurs indiquées par la table de SNEDECOR, au seuil 5°/° suffisant ici, on en conclut que l'hypothèse d'une population unique ne peut être maintenue. Les variations dues aux répartitions en classes par qualité et région étant significativement supérieures aux variations dues seulement au hasard de l'échantillonnage (causes inconnues et incontrôlables de variation). Par conséquent, dans l'ensemble du tableau, il existe des différences significatives entre les moyennes des régions ou des qualités.

2°) TEST DE L'EFFET DES FACTEURS REGION ET QUALITE ETUDIES SEPAREMENT.

Il s'agit maintenant de savoir à laquelle de ces deux causes rattacher les différences observées, ou peut-être aux deux.

1) Effet Qualité : En appelant $\bar{x}'_q$ la moyenne non pondérée par qualité, c'est-à-dire la moyenne arithmétique des $\bar{x}_{qr}(r=1,2,3)$:

$$\bar{x}'_q = \frac{1}{R} \sum_r \bar{x}_{qr}$$

et σ^2 la variance d'une mesure, la variance d'une moyenne telle que : $\bar{x}_{qr}$ est $\frac{\sigma^2}{n_{qr}}$ et la variance de $\bar{x}'_q$ est

$$\frac{\sigma^2}{R^2} \left(\frac{1}{n_{q1}} + \frac{1}{n_{q2}} + \frac{1}{n_{q3}} \right) = \frac{\sigma^2}{V_q}$$

avec :

$$\frac{1}{V_q} = \frac{1}{R^2} \sum_r \frac{1}{n_{qr}}$$

quelque soit l'élément du cidre que nous envisageons, les causes contrôlées régions et qualités sont évidemment les mêmes, le nombre de cidres dans chaque classe aussi donc les n_{qr} et partant les V_q . Le formule précédente :

variance de $\bar{x}'_q$ $\frac{\sigma^2}{V_q}$

permet de considérer les $\bar{x}'_q$ comme les moyennes de Q échantillons groupant respectivement V_q mesures⁽¹⁾. L'on peut donc avoir ainsi une nouvelle estimation de la variance, indépendante de la variance résiduelle :

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \sum_q V_q \left[\bar{x}'_q - \frac{\sum_q V_q \bar{x}'_q}{\sum_q V_q} \right]^2 = \frac{1}{q-1} \sum_q V_q \bar{x}'_q{}^2 - \left[\frac{\sum_q V_q \bar{x}'_q}{\sum_q V_q} \right]^2 \sum_q V_q$$

ici $q = 1, 2, 3$ et le calcul sera grandement simplifié. En effet en développant, il vient :

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \times \frac{1}{\sum_q V_q} \left[(V_1 + V_2 + \dots + V_n)(V_1 \bar{x}'_1{}^2 + V_2 \bar{x}'_2{}^2 + \dots + V_n \bar{x}'_n{}^2) - (V_1 \bar{x}'_1 + V_2 \bar{x}'_2 + \dots + V_n \bar{x}'_n)^2 \right]$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \times \frac{1}{\sum_q V_q} \left[(V_1^2 \bar{x}'_1{}^2 + V_2^2 \bar{x}'_2{}^2 + \dots + V_n^2 \bar{x}'_n{}^2) + V_1 (\sum_q V_q - V_1) \bar{x}'_1{}^2 + V_2 (\sum_q V_q - V_2) \bar{x}'_2{}^2 + \dots + V_n (\sum_q V_q - V_n) \bar{x}'_n{}^2 - V_1^2 \bar{x}'_1{}^2 - V_2^2 \bar{x}'_2{}^2 - \dots - V_n^2 \bar{x}'_n{}^2 - 2(V_1 V_2 \bar{x}'_1 \bar{x}'_2 + \dots + V_n V_{n+1} \bar{x}'_n \bar{x}'_{n+1}) \right]$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \times \frac{1}{\sum_q V_q} (V_1 V_2 \bar{x}'_1{}^2 + V_1 V_3 \bar{x}'_1{}^2 + \dots + V_1 V_2 \bar{x}'_2{}^2 + V_2 V_3 \bar{x}'_2{}^2 + \dots + V_1 V_q \bar{x}'_q{}^2 + V_2 V_q \bar{x}'_q{}^2 + \dots - 2 \sum_q V_q V_{q+1} \bar{x}'_q \bar{x}'_{q+1})$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \times \frac{1}{\sum_q V_q} \left[V_1 V_2 (\bar{x}'_1 - \bar{x}'_2)^2 + V_2 V_3 (\bar{x}'_2 - \bar{x}'_3)^2 + \dots + V_q V_{q+1} (\bar{x}'_q - \bar{x}'_{q+1})^2 \right]$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \times \frac{\sum_q V_q V_{q+1} (\bar{x}'_q - \bar{x}'_{q+1})^2}{\sum_q V_q}$$

et en appelant P_q le terme : $\frac{V_q V_{q+1} (\bar{x}'_q - \bar{x}'_{q+1})^2}{\sum_q V_q}$

(1) V_q n'étant pas forcément un nombre entier.

$$\sigma^2 = \frac{1}{q-1} \times \sum_q p_q$$

2) Effet Région : Par des calculs identiques, en désignant par $\bar{x}'_r$ les moyennes non pondérées, par région :

$$\bar{x}'_r = \frac{1}{Q} \sum_q \bar{x}_{qr}$$

et posant :

$$\frac{1}{U_r} = \frac{1}{Q^2} \sum_q \frac{1}{n_{qr}} \quad (*)$$

on aura une nouvelle estimation de la variance, indépendante de la variance résiduelle, par l'expression :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_r U_r U_{r+1} (\bar{x}'_r - \bar{x}'_{r+1})^2}{\sum_r V_r} \times \frac{1}{r-1} = \frac{1}{r-1} \times \sum_r p_r$$

Il suffira de comparer ces deux nouvelles estimations de la variance à la variance de l'erreur pour tester globalement les effets des différentes qualités ou des différentes régions sur la teneur en l'élément considéré.

Nous allons maintenant donner le tableau, qui sera naturellement le même pour tous les éléments des $1/n_{qr}$ et calculer

les V_q, V_{q+1} et $\frac{V_q V_{q+1}}{\sum_q V_q}$ ainsi que les U_r, U_{r+1} et $\frac{U_r U_{r+1}}{\sum_r U_r}$

(*) U_r n'étant pas forcément un nombre entier.

Très bons	Bons	Mauvais	Total	U_r	$U_r U_{r+1}$	$\frac{U_r U_{r+1}}{\sum U_r}$
0,25000	0,20000	0,16667	0,61667	14,59452	527,068247	8,145261
0,07143	0,06667	0,11111	0,24921	36,11412	505,595513	7,813423
0,33333	0,14286	0,16667	0,64286	13,99994	204,322404	3,157678
0,65476	0,40953	0,44445	Total	64,70858		
13,74549	21,97641	20,24975	55,97165			
302,076524	445,016808	278,342736				
5,396956	7,950754	4,972924				

Vimoutiers

Rennes

Le Mans

Total

V_q

$V_q V_{q+1}$

$\frac{V_q V_{q+1}}{\sum V_q}$

3°) TEST DE L'INTERACTION QUALITE/REGION.

Nous allons chercher à décomposer la somme des carrés "entre échantillons" : $\sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2$, en deux facteurs, le premier représentant l'ajustement linéaire, le second l'interaction.

En effet, s'il n'y a pas interaction, les effets des deux causes séparées qualité et région s'ajoutent et une mesure quelconque est la somme d'un terme constant m , d'un terme qui ne dépend que de la qualité : b_q , d'un terme qui ne dépend que de la région : a_r et enfin d'un terme purement aléatoire : ϵ

$$x_{iqr} = m + a_r + b_q + \epsilon$$

La méthode des moindres carrés permettra de déterminer les paramètres m , a_r et b_q . On en déduira, après ajustement, une nouvelle estimation de la variance σ^2 (somme des carrés des résidus), qui indiquera, par comparaison avec la variance de l'erreur préalablement calculée, s'il y a interaction significative ou non.

Pour simplifier les calculs, faisons coïncider m avec la moyenne observée $\bar{x}$, on aura donc pour valeur ajustée de x dans une classe q, r :

$$\bar{y}_{qr} = \bar{x} + a_r + b_q$$

donc (4) $\sum_r a_r = 0 \quad \sum_q b_q = 0$

En appliquant la méthode des moindres carrés à la détermination des a_r et b_q , il faut rendre minimum la somme des carrés :

$$s_{a_r b_q}^2 = \sum_i \sum_q \sum_r (x_{iqr} - \bar{x} - a_r - b_q)^2$$

c'est-à-dire annuler les dérivées partielles par rapport à a_r et b_q :

$$\frac{\partial s^2}{\partial a_r} = 0 \quad \frac{\partial s^2}{\partial b_q} = 0$$

d'où : (5) $n_r a_r + \sum_q n_{qr} b_q = \sum_q n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x}) = X_{r_1} - n_r \bar{x}$ (3 équations)

(6) $\sum_r n_{qr} a_r + n_q b_q = \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x}) = X_{q_1} - n_q \bar{x}$ (3 équations)

Les 6 équations (4), (5), (6) permettent de calculer les 6 paramètres a_r ($r = 1, 2, 3$) et b_q ($q = 1, 2, 3$) dont 4 seulement sont indépendants (relations (4)).

Nous pouvons remarquer que, dans notre cas particulier, pour tous les éléments du cidre sur lesquels porte notre analyse de la variance, $n_q, n_r, \sum_r n_{qr}$ et $\sum_q n_{qr}$ sont constants; donc dans ce système d'équations, tous les coefficients des inconnues seront les mêmes dans chaque cas, seul varie le terme constant. Ce système ne sera donc pas à résoudre à chaque fois, mais nous pouvons établir des formules simples. Développons en effet ces équations, il vient :

$$15 a_1 + 4 b_1 + 5 b_2 + 6 b_3 = \alpha$$

$$38 a_2 + 14 b_1 + 15 b_2 + 9 b_3 = \beta$$

$$16 a_3 + 3 b_1 + 7 b_2 + 6 b_3 = \gamma$$

$$4 a_1 + 14 a_2 + 3 a_3 + 21 b_1 = \delta$$

$$5 a_1 + 15 a_2 + 7 a_3 + 27 b_2 = \varepsilon$$

$$6 a_1 + 9 a_2 + 6 a_3 + 21 b_3 = \zeta$$

$$15 a_1 + 38 a_2 + 16 a_3 = 0$$

$$21 b_1 + 27 b_2 + 21 b_3 = 0$$

$$\text{avec } \alpha = X_{r_1} - n_{r_1} \bar{x}$$

$$\beta = X_{r_2} - n_{r_2} \bar{x}$$

$$\gamma = X_{r_3} - n_{r_3} \bar{x}$$

$$\delta = X_{q_1} - n_{q_1} \bar{x}$$

$$\varepsilon = X_{q_2} - n_{q_2} \bar{x}$$

$$\zeta = X_{q_3} - n_{q_3} \bar{x}$$

$$\text{Posons } \alpha' = \frac{\alpha}{15}, \quad \beta' = \frac{\beta}{38}, \quad \gamma' = \frac{\gamma}{16}$$

$$D = 14,21294, \quad R = \frac{26,44593}{23,30193} = 1,13492$$

$$P = \frac{5,68750}{D} \alpha' - \frac{105,11658}{D} \beta' - \frac{20,60702}{D} \gamma' + \frac{2,13136}{D} \delta + \varepsilon - \zeta$$

$$P = 0,40016 \alpha' - 7,39584 \beta' - 1,44988 \gamma' + 0,14996 \delta + \varepsilon - \zeta$$

il vient après solution :

$$b_3 = \frac{4\alpha' + 14\beta' + 3\gamma' - \delta - R.P}{46,69966}$$

$$b_2 = b_3 + \frac{P}{23,30193}$$

$$b_1 = \frac{8,17215 b_2 + 6,04079 b_3 - 4\alpha' - 14\beta' - 3\gamma' + \delta}{14,21294}$$

$$a_1 = \frac{\alpha - 4b_1 - 5b_2 - 6b_3}{15}$$

$$a_2 = \frac{\beta - 14b_1 - 15b_2 - 9b_3}{38}$$

$$a_3 = \frac{\gamma - 3b_1 - 7b_2 - 6b_3}{16}$$

On pourra alors décomposer la somme des carrés "entre échantillons" (1) sous la forme :

$$\sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2 = \sum_q \sum_r n_{qr} \left[(\bar{x}_{qr} - \xi_{qr}) + (\xi_{qr} - \bar{x}) \right]^2$$

et en remarquant que les doubles produits sont nuls, puisque :

$$\sum_q \sum_r n_{qr} (\xi_{qr} - \bar{x}) = \sum_q \sum_r n_{qr} (a_r + b_q) = \sum_q n_q b_q + \sum_r n_r a_r = 0$$

l'on aura :

$$\sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2 = \sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \xi_{qr})^2 + \sum_q \sum_r n_{qr} (\xi_{qr} - \bar{x})^2$$

avec respectivement comme degrés de liberté :

$$Q \times R - 1 = Q + R - 2 + (Q - 1)(R - 1)$$

La somme des carrés "entre échantillons" ayant déjà été calculée, la partie résiduelle s'obtiendra par différence après le calcul de la somme des carrés due à l'ajustement linéaire :

$$\sum_q \sum_r n_{qr} (\xi_{qr} - \bar{x})^2$$

Or elle est égale à :

$$\sum_q \sum_r n_{qr} (a_r - b_q)^2 = \sum_r n_r a_r^2 + \sum_q n_q b_q^2 + 2 \sum_q \sum_r n_{qr} a_r b_q$$

La valeur de cette expression se déduit facilement des trois équations (5). Si l'on en multiplie les termes par a_r et fait la somme par région, il vient en effet :

$$\sum_r n_r a_r^2 + \sum_q \sum_r n_{qr} a_r b_q = \sum_q \sum_r n_{qr} a_r \bar{x}_{qr} - \bar{x} \sum_q \sum_r n_{qr} a_r$$

or : $\sum_r n_{qr} a_r = 0$; $\sum_q \sum_r n_{qr} a_r \bar{x}_{qr} = \sum_r a_r X_r$

donc : $\sum_r n_r a_r^2 + \sum_q \sum_r n_{qr} a_r b_q = \sum_r a_r X_r$

On trouvera de même à partir des trois équations (6) :

$$\sum_q n_q b_q^2 + \sum_q \sum_r n_{qr} a_r b_q = \sum_q b_q X_q$$

d'où : $\sum_q \sum_r n_{qr} (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2 = \sum_r a_r X_r + \sum_q b_q X_q$

d'où le tableau définitif d'analyse de la variance :

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté
Ajustement linéaire paramètres a_r et b_q	$\sum_q \sum_r (a_r + b_q)^2$	$Q + R - 2 = 4$
Interaction $Q \times R$	$\sum_q \sum_r (\bar{x}_{qr} - \bar{x} - a_r - b_q)^2$	$(Q - 1)(R - 1) = 4$
Totale entre échantillons	$\sum_q \sum_r (\bar{x}_{qr} - \bar{x})^2$	$QR - 1 = 8$
Résiduelle (erreur)	$\sum_i \sum_q \sum_r (x_{iqr} - \bar{x}_{qr})^2$	$N - QR = 60$
TOTALE	$\sum_i \sum_q \sum_r (x_{iqr} - \bar{x})^2$	$N - 1 = 68$

Soient alors s_q^2 , s_r^2 , et s_1^2 les variances trouvées, la variance résiduelle s_d^2 ayant déjà été calculée; on forme les rapports successifs de ces variances à la variance de l'erreur, et, comme précédemment, s'ils sont supérieurs aux valeurs indiquées par la table de SNEDECOR, au seuil 5%, on conclut que la cause contrôlée étudiée introduit dans la répartition de la variable envisagée une hétérogénéité, ou qu'il y a une interaction significative entre ces deux causes.

Développons à titre d'exemple les calculs relatifs aux teneurs du cidre en alcool en puissance.

Les données nécessaires à ces calculs sont indiquées à la page suivante.

La somme des carrés de toutes les mesures est : 228,1017.

TABLEAU DES MESURES

		Très bons	Bons	Mauvais	Totaux	
					$\bar{x}_{r_i}$	n_r
VIMOUTIERS	4,58 4,63 3,68 3,62 4 mesures	2,27 1,76 1,93 2,59 2,48 5 mesures	1,40 2,14 2,39 1,54 2,28 1,90 6 mesures			
	16,51	11,03	11,65	39,19	15	
	4,13	2,21	1,94			
RENNES	2,28 2,14 2,38 1,81 0,89 0,81 0,89 1,59 0,86 0,92 0,73 0,22 0,77 1,44 14 mesures	0,53 0,33 0,47 0,40 0,30 0,49 1,23 0,22 0,85 0,88 1,76 0,00 1,42 0,12 0,07 12 mesures	0,19 0,81 0,69 0,01 0,00 0,15 0,00 0,05 0,00 9 mesures			
	17,73	9,07	1,90	28,70	38	
	1,27	0,60	0,21			
LE MANS	3,69 4,50 2,95 3 mesures	1,64 1,21 2,35 1,50 0,40 2,57 2,74 7 mesures	1,07 0,29 0,23 0,00 1,30 0,48 6 mesures			
	11,14	12,41	3,37	28,92	16	
	3,71	1,77	0,56			
TOTAUX	$\bar{x}_{q_i}$	45,38	32,51	16,92	94,81	
	n_q	21	27	21	69	

Moyenne générale $\bar{x} = 1,37$

TABLEAU DES CARRÉS DES MESURES

	Très bons	Bons	Mauvais		Très bons	Bons	Mauvais
VIMOUTIERS	20,9764	5,1529	1,9600	RENNES	5,1984	0,2809	0,0361
	21,4369	3,0976	4,5796		4,5796	0,1089	0,6561
	13,5424	3,7249	5,7121		5,6644	0,2209	0,4761
	13,1044	6,7081	2,3716		3,2761	0,1600	0,0001
		6,1504	5,1984		0,7921	0,0900	0,0000
LE MANS			3,6100		0,6561	0,2401	0,0225
	13,6161	2,6896	1,1449		0,7921	1,5129	0,0000
	20,2500	1,4641	0,0841		2,5281	0,0484	0,0025
	8,7025	5,5225	0,0529		0,7396	0,7225	0,0000
		2,2500	0,0000		0,8464	0,7744	
		0,1600	1,6900		0,5329	3,0976	
		6,6049	0,2304		0,0484	0,0000	
		7,5076			0,5929	2,0164	
					2,0736	0,0144	
						0,0049	

La somme des carrés générale, rapportée à la moyenne est :

$$228,1017 - (1,37)^2 \times 69 = 98,2120 \quad (68 \text{ degrés de liberté})$$

1°) TEST D'HOMOGENEITE

La somme des carrés "entre échantillons" est :

$$(16,51 \times 4,13) + (17,73 \times 1,27) + \dots - \frac{(1,37)^2}{69} = 78,8143 \quad \begin{matrix} (8 \text{ degrés} \\ \text{de} \\ \text{liberté}) \end{matrix}$$

La somme des carrés résiduelle est par différence 19,3977 { 60 degrés de liberté
Total 98,2120 { 68 degrés de liberté

Variance entre échantillons :

$$\begin{array}{l} \frac{78,3143}{8} = 9,8518 \\ \text{Variance résiduelle} \\ \frac{19,3977}{60} = 0,3233 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \frac{78,3143}{8} = 9,8518 \\ \frac{19,3977}{60} = 0,3233 \end{array}} \right\} \text{Rapport : } \frac{9,8518}{0,3233} = 30,5$$

Cette valeur est nettement significative. On est donc conduit à rejeter l'hypothèse d'homogénéité.

2°) TEST DE L'EFFET DES FACTEURS REGION ET QUALITE.

(Voir à la page suivante le tableau des $\bar{x}_{qr}$, $\bar{x}'_q$, $\bar{x}'_r$, P_q et P_r)

Test de l'effet des causes R (Classement par origine).

La variance sera : $s_R^2 = \frac{1}{2} \times 50,167855 = 25,083927$

Le rapport à la variance de l'erreur est : $\frac{25,083927}{0,3233} = 77,6$

Il est donc nettement significatif.

Test de l'effet des causes Q (Classement par qualité).

La variance sera : $s_q^2 = \frac{1}{2} \times 64,242905 = 32,1214525$

Le rapport à la variance de l'erreur est : $\frac{32,1214525}{0,3233} = 99,3$

Il est donc nettement significatif.

Il y a donc des différences significatives à la fois entre qualités et entre origines.

TABLEAU DES $\bar{x}_{qr}$, $\bar{x}'_q$, $\bar{x}'_{qr}$, P_q et P_r

	Très bons	Bons	Mauvais	Moyenne non pondérée $\bar{x}'_r$	$(\bar{x}'_r - \bar{x}'_{r+1})$	$(\bar{x}'_r - \bar{x}'_{r+1})^2$	P_r
Vimoutiers	4,13	2,21	1,94	2,760	2,067	4,272	34,795440
Rennes	1,27	0,60	0,21	0,693	1,320	1,742	13,610245
Le Mans	3,71	1,77	0,56	2,013	0,747	0,558	1,762164
Moyenne non pondérée $\bar{x}'_q$	3,037	1,527	0,903			TOTAL	50,167355
$(\bar{x}'_q - \bar{x}'_{q+1})$	1,510	0,624	3,134				
$(\bar{x}'_q - \bar{x}'_{q+1})^2$	2,280	0,389	9,822	TOTAL			
P_q	12,305160	3,092939	48,84806	64,242905			

3°) TEST DE L'INTERACTION QUALITE/REGION.

Les données nécessaires au calcul des paramètres a_r et b_q sont contenues dans le tableau des mesures. Nous avons ici :

$$\begin{aligned}\alpha &= 18,580 & \delta &= - 4,588 \\ \beta &= 16,526 & \varepsilon &= 4,936 \\ \gamma &= - 23,512 & \zeta &= - 11,934\end{aligned}$$

ce qui donnera comme solutions du système général d'équations :

$$\begin{aligned}a_1 &= 1,34477 & b_1 &= - 0,07630 \\ a_2 &= - 0,66667 & b_2 &= 0,64257 \\ a_3 &= 0,32288 & b_3 &= 0,74986\end{aligned}$$

Dans la somme des carrés "entre échantillons" trouvée égale à 78,8143, avec 8 degrés de liberté au paragraphe 1, la partie imputable à l'ajustement linéaire est :

$$\begin{aligned}\sum_r a_r X_r + \sum_q b_q X_q &= (1,34477 \times 39,19) - (0,66667 \times 28,70) \dots \\ &- (0,74986 \times 16,92) = 46,99987\end{aligned}$$

et la partie résiduelle est (par différence) : 31,81443 (4 degrés de liberté)

$$\text{Total} \dots\dots\dots : 78,81430$$

$$\text{La variance "interaction } Q \times R \text{ est } \dots\dots : \frac{31,81443}{4} = 7,9536$$

$$\text{Le rapport à la variance de l'erreur est } \dots : \frac{7,9536}{0,3233} = 24,6$$

Il est donc nettement significatif.

En définitive, le tableau d'analyse de la variance est :

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrès de liberté	Variance
Ajustement linéaire (paramètres a_r et b_q)	46,99987	4	-
Interaction $Q \times R$	31,81443	4	7,9536
Totale entre échantillons	78,8143	8	9,8518
Résiduelle (erreur)	19,3977	60	0,3233
Totale	98,2120	68	-

Voici, résumé dans le tableau suivant les résultats fournis pour l'ensemble des éléments du cidre par cette méthode (1)

Elément	Qualité	Région	Interaction
Densité	+	+	+
Extrait sec	+	+	-
Extrait réduit	-	+	-
Cendres	Limite	+	-
Tanins	-	-	-
Azote	-	-	-
Acidité {	Totale	-	-
	Volatile	+	-
	Fixe	-	-
Alcool {	Acquis	-	-
	En puissance	+	+
	Total	-	+
Glucose	+	+	+
Lévéulose	+	+	+
Saccharose	+	+	+
Sucres réducteurs	+	+	+

(1) Voir les explications pour les notations employées dans ce tableau page 56.

Il faut maintenant préciser quelles sont les moyennes qui sont différentes. Ceci est possible par la comparaison directe des moyennes deux à deux. Nous le ferons en employant le test t de STUDENT-FISHER, étant donné le petit nombre d'échantillons que nous avons.

Si nous considérons deux sous-populations d'effectifs n et n' dans lesquelles les résultats sont exprimés par des nombres x et x' , dont les moyennes sont $\bar{x}$ et $\bar{x}'$, on calcule la valeur de t :

$$t = \sqrt{\frac{nn'}{n + n'}} \times \frac{\bar{x} - \bar{x}'}{s_e}$$

en utilisant comme variance commune, s_e , la variance de l'erreur préalablement déterminée.

L'on cherche dans les tables correspondantes la probabilité $P(t)$ que la valeur observée de t a de chances d'être due uniquement au hasard. Si elle est inférieure à 5% on conclut à une différence significative des moyennes considérées.

Il sera naturellement inutile de faire ces comparaisons au sujet des éléments dont nous avons trouvé dans l'étude d'ensemble précédente que la teneur était indépendante de la Région ou de la Qualité.

Les calculs entiers n'ont, bien entendu, besoin d'être effectués intégralement que lorsqu'il peut y avoir doute sur la réalité d'une différence significative entre les deux moyennes.

Enfin, il n'est pas utile ici de comparer indistinctement n'importe quelles moyennes, mais seulement, soit pour une même région, celles des différentes qualités, soit pour une même qualité celles des différentes régions. Par contre, il sera intéressant de comparer aussi entre elles les moyennes générales des cidres de chaque qualité ou de chaque région.

Nous montrerons aussi par un seul exemple une application de cette méthode et nous nous contenterons pour le reste de donner les résultats.

Traitions le cas de l'alcool total, particulièrement intéressant puisque nous avons vu que sa teneur varie suivant les régions et non suivant les qualités, mais qu'il y a une interaction significative entre ces deux facteurs. Nous essaierons ainsi d'en élucider la nature.

La variance de l'erreur avait été, rappelons le, trouvée égale à :

$$s_e^2 = 1,968735$$

I/ Comparaison des moyennes générales de chaque région.

Il est clair que les cidres du Mans sont les plus riches en alcool total, puis ceux de Vimoutiers et enfin ceux de Rennes.

II/ Comparaison des moyennes générales de chaque qualité.

Il est aussi net que quelle que soit la qualité les teneurs moyennes en alcool total ne sont pas sensiblement différentes. Mais si nous examinons la question plus en détail, nous verrons apparaître des différences.

III/ Comparaison des moyennes, par région, de chaque qualité.

a) Pour les cidres du Pays d'Auge, elles ne diffèrent pas sensiblement suivant la qualité.

b) Pour ceux de Rennes, le calcul montre que ceux de première catégorie sont nettement, et ceux de troisième très faiblement plus riches en alcool total que ceux de seconde; en effet, en appliquant la formule ci-dessus pour calculer t , il vient :

$$\sqrt{\frac{nn'}{n+n'}} = 3,138 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 1,146$$

d'où $t = 2,552$ (Comparaison des cidres de 2° et de 1° catégorie). La probabilité correspondante est : $P(t) \neq 0,011$, valeur qui indique une nette différence.

Pour les cidres de 2° et 3° catégorie, on a :

$$\sqrt{\frac{nn'}{n+n'}} = 2,372 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 1,0075$$

d'où $t = 1,70$. La probabilité $P(t)$ n'est plus que de 0,089, ce qui indique que les différences observées ne sont que très faiblement significatives.

c) Les cidres de la Sarthe, comme ceux du Pays d'Auge, ont sensiblement les mêmes teneurs en alcool total, quelle que soit la qualité.

Ceci explique l'interaction observée entre qualité et Région sur les teneurs en alcool total; celles-ci étant indépendantes de la qualité pour deux des régions envisagées, mais non pour la troisième (Ille et Vilaine).

IV/ Comparaison des moyennes, par qualité, de chaque région.

a) 1° catégorie : Les cidres du Mans et de Vimoutiers sont sensiblement aussi riches en alcool total, ceux de Rennes en ont nettement moins que ceux

du Mans, et moins nettement que ceux de Vimoutiers, en effet, si nous calculons t , nous avons :

$$\text{Rennes/Le Mans : } \sqrt{\frac{nn'}{n + n'}} = 1,572 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 1,7693$$

$$t = 1,98 \quad P(t) \neq 0,048$$

$$\text{Rennes/Vimoutiers : } \sqrt{\frac{nn'}{n + n'}} = 1,765 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 1,4368$$

$$t = 1,801 \quad P(t) \neq 0,076$$

b) 2° catégorie : Ici, l'on obtient une classification nette, les cidres du Mans étant en tête devant ceux de Vimoutiers, puis ceux de Rennes étant les plus pauvres en alcool total.

$$\text{Vimoutiers/Rennes : } \sqrt{\frac{nn'}{n + n'}} = 1,937 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 1,4313$$

$$t = 1,97 \quad P(t) \neq 0,049$$

$$\text{Vimoutiers/Le Mans : } \sqrt{\frac{nn'}{n + n'}} = 1,71 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 2,2369$$

$$t = 2,717 \quad P(t) \neq \text{inférieure à } 0,01$$

A fortiori, les cidres de Rennes sont bien moins riches que ceux du Mans.

c) 3° Catégorie : Les cidres du Mans et de Vimoutiers ne se distinguent pas, non plus que ceux de Vimoutiers et de Rennes; Seuls montrent une différence ceux du Mans et de Rennes, ces derniers étant moins riches en alcool total :

$$\sqrt{\frac{nn'}{n + n'}} = 1,9 \quad \bar{x} - \bar{x}' = 2,2369$$

$$t = 2,10 \quad P(t) \neq 0,036$$

Voici les résultats pour les autres éléments. Pour simplifier la lecture du tableau, nous représenterons par V, L, R les moyennes relatives aux cidres de Vimoutiers, Le Mans et Rennes; par 1, 2, 3 celles des cidres de première, seconde ou troisième catégorie. Ces deux indices étant employés simultanément au besoin. Nous rangerons ces moyennes dans l'ordre décroissant, avec le signe "=" si elles ne diffèrent pas significativement.

Ainsi, par exemple, la notation :

$$V_1, V_2 = V_3$$

signifie que les cidres de première catégorie de Vimoutiers, sont plus riches que ceux de deuxième et troisième catégorie, mais que ces deux derniers ne diffèrent pas significativement par leur teneur en l'élément considéré.

Elément	Moyennes générales des Régions		Moyennes individuelles des Régions	
		Qualités		Qualités
Densité	V, L, R	1, 2, 3	$V_1 = L_1, R_1$ V_2, L_2, R_2 $V_3, L_3 = R_3$	$V_1, V_2 = V_3$ R_1, R_2, R_3 L_1, L_2, L_3
Extrait sec	V, L, R	1, 2=3	$V_1 = L_1, R_1$ $V_2 = L_2, R_2$ V_3, L_3 très peu sup. R_3	$V_1, V_2 = V_3$ $R_1, R_2 = R_3$ L_1, L_2, L_3
Extrait réduit	V, L, R	1, 2, 3	V_1 très faiblement sup. R_1 $V_1 = L_1$ $L_1 = R_1$ $V_2 = L_2, R_2$ V_3, R_3 $V_3 = L_3, L_3 = R_3$	
Cendres	L, V, R	1, 2, 1=3, 2=3	V_1, R_1 $V_1 = L_1, L_1 = R_1$ $L_2, V_2 = R_2$ $L_3, V_3 = R_3$	$V_1, V_2 = V_3$ $R_1, R_2, R_1 = R_3$ $R_2 = R_3$ $L_1 = L_2 = L_3$
Acidité totale	L, V faiblement sup. R		$V_1 = L_1, L_1 = R_1$ V_1 très faiblement sup. R_1 $L_2, V_2 = R_2$ $L_3 = V_3, V_3 = R_3$ L_3 très faiblement sup. R_3	
Acidité volatile	L, R = V	3, 2 = 1	$V_1 = R_1, R_1 = L_1$ L_1 juste sup. V_1 $L_2, R_2 = V_2$ $L_3, R_3 = V_3$	$V_1 = V_2, V_2 = V_3$ V_3 très peu sup. V_1 $R_3, R_2 = R_1$ L_3 faiblement sup. L_2 $L_3, L_1, L_2 = L_1$

Elément	Moyennes générales des Régions	Qualités	Moyennes individuelles des Régions	Qualités
Alcool acquis	L, R très faiblement sup. V	-	R1=L1, L1=V1 R1 très faiblement sup. V1 L2, R2=V2 L3=R3, R3=V3 L3,V3	-
Alcool en puissance	V, L, R	1, 2, 3	V1=L1, R1 V2=L2, R2 V3, L3=R3	V1, V2=V3 R1, R2 faiblement sup. R3 L1, L2, L3
Glucose	V, L, R	1, 2=3	V1=L1, R1 V2, R2, V2=L2 L2=R2 V3,R3, V3=L3 L3=R3	V1, V2=V3 R1,R2=R3 L1,L2,L3
Lévilose	V, L, R	1, 2, 3	V1=L1, R1 V2=L2, R2 V3, L3=R3	V1, V2=V3 R1, R2 faiblement sup. R3 L1, L2, L3
Saccharose	V, R = L	1, 3 = 2	V1, L1=R1 V2=L2=R2 V3=R3=L3	V1, V3, V2 R1=R2=R3 L1=L2=L3
Sucres réducteurs	V, L, R	1, 2, 3	V1=L1, R1 V2=L2, R2 V3, L3=R3	V1, V2=V3 R1, R2=R3 L1, L2, L3

REMARQUES RELATIVES A CES RESULTATS

Il ressort de cette étude que les cidres de 1^o catégorie du Pays d'Auge et de la Sarthe sont de composition très voisine, au contraire, en 3^o catégorie, ceux-ci se rapprochent plutôt de ceux d'Ille et Vilaine.

Les différences de composition, suivant la qualité, sont surtout marquées entre les premières et deuxièmes catégories, plus qu'entre les deuxièmes et troisièmes. C'est pour les cidres de la Sarthe que la composition varie le plus régulièrement avec la qualité.

Celle-ci influe essentiellement sur la richesse en sucre

des cidres, et partant sur les résultats qui en dépendent le plus (densité, extrait sec,...), les meilleurs étant les plus sucrés, et partant aussi les moins riches en alcool acquis. Remarquons d'ailleurs à ce sujet que le seuil de signification choisi ici (5%) semble dans certains cas assez sévère, et qu'ainsi passe inaperçue l'influence de la qualité, par exemple, sur certains éléments, bien que les résultats paraissent laisser supposer qu'il y en ait une (alcool acquis, tanins, ...). Cela tient en particulier à la dispersion assez grande des mesures à l'intérieur d'une même classe : il faudrait pouvoir perfectionner la méthode de collecte des échantillons, pour l'atténuer. Nous avons signalé au début à quelles difficultés on se heurte alors.

Les différences observées sont aussi moins nettes pour l'alcool acquis que pour les sucres, vraisemblablement parce que la faiblesse de ceux-ci peut être due non seulement à une fermentation plus complète, mais aussi à des mouillages ou tout au moins coupages avec des jus de rémiage, ce qui abaisse en même temps le degré alcoolique.

C'est aussi, sans doute, à la même raison qu'il faut attribuer les différences dans les teneurs en matières minérales observées suivant les qualités. Nous noterons donc que les cidres les moins bons ne sont pas des purs jus, donc sont moins riches en cendres, et que ce n'est pas une richesse plus faible en cendres qui les rend moins bons. Il y a une relation entre les deux choses, mais non pas de cause à effet.

Notons enfin, que, comme il était normal de s'y attendre, les plus fortes teneurs en acides volatils sont trouvées dans les cidres de troisième catégorie. Ce sont alors des cidres durs, même parfois piqués, et vraiment mauvais à la dégustation.

Cette étude directe de comparaison des moyennes deux à deux permet aussi d'éclaircir les interactions observées entre les effets, sur la composition des cidres, Région et Qualités.

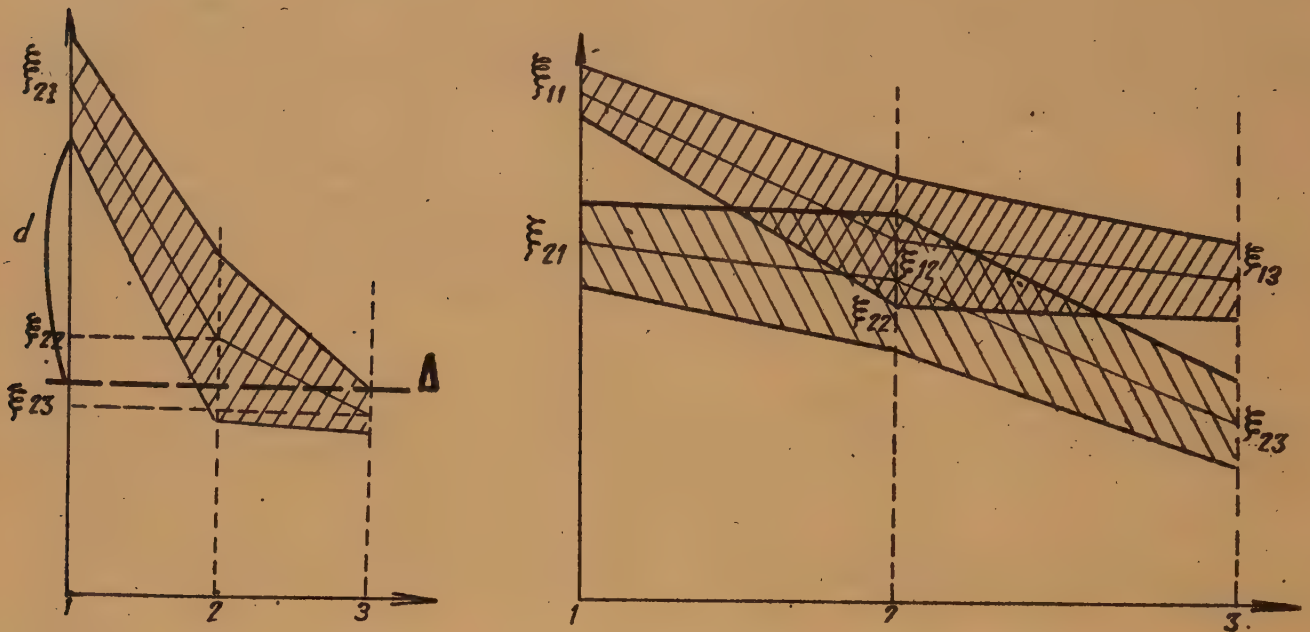
Pour la densité, l'alcool en puissance, les sucres réducteurs, le lévulose, on voit en effet que si les cidres de Vimoutiers et du Mans sont assez semblables en 1^o et 2^o catégorie, ceux de 3^o sont bien plus différents, étant moins riches dans la Sarthe que le Pays d'Auge.

Pour le glucose, on note de même que la teneur de ceux-ci varie moins d'une qualité à l'autre que celles des cidres du Mans.

Pour le saccharose enfin, on remarque que si son pourcentage reste constant, en ayant plutôt tendance à diminuer régulièrement suivant la qualité en Ille et Vilaine et dans la Sarthe, au contraire, il augmente pour les cidres du Pays d'Auge en passant de deuxième en troisième catégorie.

Tous les résultats ainsi trouvés peuvent d'ailleurs être schématiquement concentrés dans les graphiques suivants.

Pour chaque élément considéré, nous traçons, comme indiqué ci-joint, pour chaque région, une droite joignant les moyennes



de chaque qualité, en prenant dans chaque graphique une échelle proportionnelle à la variance de l'erreur pour l'élément considéré. Nous entourons ces droites d'une zone hachurée dont la largeur est proportionnelle à la variance particulière à chaque classe. Ainsi avec les notations déjà utilisées, nous représenterons la moyenne $\bar{x}_{qr}$ dans notre graphique par un point d'ordonnée :

$$f_{qr} = \frac{\bar{x}_{qr}}{s_e}$$

et de part et d'autre de ce point, nous porterons une longueur égale a :

$$\sqrt{\frac{\frac{\sum (x - \bar{x}_{qr})^2}{n_{qr} - 1}}{\bar{x}_{qr} \times 2}} \quad f_{qr}$$

Par un simple coup d'oeil, on se rend donc approximativement compte :

a) Si les moyennes relatives aux diverses régions sont significativement différentes, et de combien, en voyant si les zones hachurées se superposent partiellement ou non, et alors de combien elles sont séparées.

b) Si les moyennes relatives aux diverses qualités sont significativement différentes, et de combien, en voyant si l'horizontale Δ menée par l'un des points extrêmes de l'une de ces zones est intérieure ou extérieure, et alors de combien, à la zone que l'on compare. Par exemple, si Δ correspondant au point $\bar{x}_{r3}$ traverse la zone entourant le point $\bar{x}_{r2}$, cela signifie que $\bar{x}_{r3}$ ne diffère pas significativement de $\bar{x}_{r2}$, au contraire, si Δ ne traverse pas la zone entourant $\bar{x}_{r1}$, c'est que $\bar{x}_{r3}$ diffère significativement de $\bar{x}_{r1}$ et la valeur d indique de combien.

Ainsi sur l'exemple ci-contre $\bar{x}_{23}$ et $\bar{x}_{13}$ sont différents, de même que $\bar{x}_{11}$ et $\bar{x}_{21}$, mais $\bar{x}_{22}$ et $\bar{x}_{12}$ ne le sont pas.

c) S'il y a interaction, celle-ci correspondant approximativement aux angles entre elles, des droites représentant les variations des moyennes pour chaque qualité et chaque région.

B/ COMPOSITION, POMMES ET LEVURES.

La recherche des différences de composition du cidre dues aux effets pommes et levures s'effectuera exactement suivant la même technique que précédemment.

Notons cependant que des accidents de fermentation se sont produits dans les cidres faits sous l'action de la levure LB 3 avec les pommes Bedan. Nous avons donc dû les rejeter, et manquant de fruits de cette variété, nous n'avons pu refaire l'expérience. Nous n'avons donc pu essayer que deux levures avec ces pommes, toutes les trois ont pu l'être avec les Vilbéry et les Damelot.

Les comparaisons que nous allons faire, seront de ce fait divisées en trois parties :

a) Comparaison des effets des pommes Bedan, Vilbéry et Damelot en ne considérant que les cidres fermentés avec Caumont C2 et M 45 (2).

b) Comparaison des effets des levures Caumont C2 et M 45 (2) en considérant ces trois variétés de pommes.

c) Comparaison des effets des trois espèces de levures Caumont C2, M 45 (2) et LB 3 en ne considérant que les variétés de pommes Vilbéry et Damelot.

Comme précédemment, nous mettrons dans certains cas en évidence une interaction significative entre les effets Pommes et Levures.

Le tableau suivant consigne les résultats obtenus :

Le signe + indique que la cause considérée a une influence significative sur la teneur en l'élément envisagé; le signe - indique au contraire qu'elle n'en a pas. De même une interaction significative entre les deux causes est signalée par le signe + .

Enfin ces résultats seront complétés ou précisés par la comparaison directe des moyennes deux à deux, dans le cas où l'étude d'ensemble aura montré que la nature des pommes ou l'espèce des levures a une influence significative sur la teneur du cidre en l'élément considéré, et là encore, comme plus haut, il ne sera pas utile de comparer entre elles n'importe quelles moyennes, mais seulement soit pour une même variété de pommes, celles des cidres fermentés avec différentes levures, soit pour les cidres fermentés avec une même levure, celles de ceux obtenus à partir de diverses variétés de pommes, ainsi que les moyennes générales des cidres de chaque pomme et de chaque levure.

Nous appellerons, suivant les mêmes notations que plus haut, B, V, D les moyennes relatives aux pommes Bedan, Vilbéry et Damelot; et C, M, L celles relatives aux levures Caumont C2, M 45 (2) et LB 3 , en combinant encore au besoin ces indices. La disposition du tableau sera encore la même que précédemment.

Elément	Pommes	Levures	Interaction
Densité	+	+	-
Extrait sec	+	+	+
Extrait réduit	+	+	+
Cendres	-	-	-
Tanins	+	-	-
Azote	-	-	-
Acidité {	Totale	-	-
	Volatile	-	-
	fixe	-	+
Alcool {	Acquis	+	+
	En puissance	+	-
	Total	+	-
Glucose	+	+	+
Lévéulose	+	+	-
Saccharose	+	+	+
Sucres réducteurs	+	+	-

Elément	Moyennes générales des		Moyennes individuelles des	
	Pommes	Levures	Pommes	Levures
Densité	D = B, V	L, M, C	BC=DC, VC DM, BM=VM DL, VL	BM, BC VL=VM, VC DL très peu sup DM, DC
Extrait sec	D = B, V	L, M, C	BC = DC, VC DM faib ^t .sup.BM BM faib ^t .sup.VM DM, VM DL, VL	BM, BC VD=VM, VC
Extrait réduit	B, V = D	L, M, C	BC=DC, VC BM, VM, DM VL, DL	BM, BC VL, VM, VC DL=DC, DM
Tanins	V, D = B	-	VC, DC=BC VM, DM=BM VL, DL	
Acidité fixe	-	C, M	-	BC = BM VC = VM = VL DC = DM
Alcool acquis	B, D = V	C, M, L	BC=DC, VC BM, VM=DM VL=DL	BC== BM VC, VM = VL DC, DM = DL
Alcool en puissance	D, B faib. blement sup. V	L, M, C	DC = BC BC faiblement sup. VC DC, VC DM, BM = CM DL, VL	BM, BC VL = VM, VC DL = DM, DC
Alcool total	B = D, V	-	BC = MC, VC BM = DM, VM DL, VL	
Glucose	D, V = B	L = M, C	DC = BC = VC DM, VM, BM DL = VL	BM = BC VL = VM, VC DM = DL, DC

Elément	Moyennes générales des		Moyennes individuelles des	
	Pommes	Levures	Pommes	Levures
Lévilose	D, B, V	L, M, C	DC, VC DC = BC BC faible- ment sup. VC DM, BM fai- blement sup. VM DL, VL	BM, BC VL = VM, VC DL = DM, DC
Saccharose	B, D, V	L = M M = C L, C	BC, DC = VC DM, BM = VM DL, VL	BC, BM VL = VM = VC DL faib ^t .sup.DM DM faib ^t .sup.DC DL, DC
Sucres réducteurs	D, B = V	L, M, C	DC = BC BC = VC DC, VC DM, BM = VM DL, VL	BM, BC VL = VM, VC DL = DM, DC

REMARQUES RELATIVES A CES RESULTATS.

Les jus provenant des pommes Bedan et Damelot sont assez comparables dans l'ensemble, sauf peut-être pour l'extrait réduit, Damelot en ayant moins que Bedan, ce qui est compensé par une richesse en sucre un peu supérieure. Au contraire, ceux de Vilbéry se distinguent nettement; ils sont beaucoup moins sucrés, avec les conséquences qui en dérivent sur la densité et l'extrait sec, ainsi que l'alcool total (puisque le moût même de Vilbéry est moins riche en sucres que les autres, le cidre sera lui-même moins riche en sucres et alcool acquis, c'est-à-dire alcool total); par contre, ils sont plus riches en tanins.

Notons spécialement comme résultats les plus intéressants, avec les pommes et levures essayées, que la teneur des cidres en tanins ne dépend pas du tout des levures, mais uniquement de la nature des pommes; que les quantités d'azote restant dans le cidre sont sensiblement les mêmes quelles que soient les pommes et les levures essayées; que celles-ci n'agissent pas sur l'acidité volatile mais au contraire sur l'acidité fixe; Est-ce un indice de la fermentation de l'acide malique par certaines levures? Il semble intéressant de remarquer en outre qu'aux plus fortes teneurs en acides fixes correspondent aussi les plus fortes teneurs en alcool acquis

et que les variations de ceux-ci ont lieu dans le même sens : Faut-il y voir le rôle de l'acidité et du pH sur le pouvoir fermentatif de la levure ou une relation plus directe ?

Enfin les teneurs en alcool total ne sont pas sensiblement fonction des levures, ce qui nous conduit à penser que nous avons affaire à des fermentations alcooliques pures, ou tout au moins que les corps secondaires formés sont très approximativement les mêmes dans tous les cas. Nous verrons plus loin ce qu'il faut penser de ces hypothèses.

Comme précédemment, les interactions s'expliquent fort bien. Par exemple, l'extrait sec, l'alcool acquis, varient beaucoup moins pour les cidres faits à partir des pommes Bedan que pour les deux autres catégories en passant des levures Caumont C2 à M 45 (2). De même l'extrait réduit est plus élevé dans les cidres fermentés avec M 45 (2) que dans ceux faits sous l'action de Caumont C2 avec les moûts provenant de Bedan et Vilbéry, tandis que c'est l'inverse avec les moûts de Damelot.

Si nous considérons le glucose, nous voyons que les levures Caumont C2 et M 45 (2) en consomment autant dans les moûts issus de Bedan; M 45 (2) en consomme un peu plus que celle-là sur Vilbéry et beaucoup plus sur Damelot. Quant à LB 3 elle en consomme plutôt davantage que M 45 (2) sur Vilbéry, plutôt moins sur Damelot.

Enfin, M 45 (2) fait disparaître bien plus de saccharose que Caumont C2, dans le moût de Bedan, autant dans celui de Vilbéry, et moins dans celui de Damelot. De même LB 3 agit comme Caumont C2 et M 45 (2) sur Vilbéry, tandis que sur Damelot, elle consomme encore moins de saccharose que M 45 (2). Il semble donc que le pouvoir d'hydrolyse et de fermentescibilité de ce sucre par les levures, dépende non seulement des caractères biochimiques propres à ces levures, mais vraisemblablement aussi de certains corps qui existeraient dans le milieu, soit pour aider, soit pour gêner leur action.

Là encore, nous pouvons schématiquement représenter ces résultats par des graphiques, où chaque droite joint, pour chaque variété de pommes et à propos de chaque élément, les moyennes relatives à chaque levure, en prenant une échelle proportionnelle à la variance de l'erreur de l'élément considéré, et en entourant ces droites d'une zone hachurée dont la largeur est proportionnelle à la variance particulière à chaque classe.

Les distances entre ces droites sont d'autant plus importantes que l'influence des pommes se traduit d'une manière plus marquée dans la constitution du cidre; et ces segments s'éloignent d'autant plus de l'horizontale que les levures ont des effets plus dissemblables. Les angles qu'elles font entre elles sont des indices de l'interaction.

Nous avons enfin voulu à propos de ces recherches étudier sur quels éléments porte l'action de la levure au cours de la fermentation et quelle en est l'importance.

Pour cela, nous avons prélevé des échantillons aussi homogènes que possible dans chaque variété de moûts avant fermentation, et les avons analysés.

Les résultats, supposés moyennes théoriques exactes μ de la composition du moût, sont alors comparés aux moyennes $\bar{x}_{PL}$ des analyses après fermentation, grâce à la formule :

$$t = \frac{\bar{x}_{PL} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n_{PL}}}} \quad \text{avec} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x}_{PL})^2}{n_{PL} - 1}}$$

comme précédemment,

x étant un résultat quelconque,

$\bar{x}_{PL}$ la moyenne des cidres en nombre n_{PL} obtenus avec les pommes P et fermentés avec les levures L .

Suivant la valeur de t on peut donc savoir si la levure a eu ou non une action sur cet élément, et même avoir une idée de l'importance de cette action.

Nous ne retranscrivons pas les calculs qui sont les mêmes que plus haut. Voici simplement les résultats. Nous notons entre parenthèses les valeurs de $P(t)$ quand il peut y avoir hésitation sur la réalité des différences entre la composition du moût et du cidre correspondant.

1) La levure Caumont C2 fait accroître fortement la densité des moûts, quelle que soit leur origine (Bedan, Vilbéry, Damelot), la M 45 (2) ne touche pas sensiblement à la densité du jus de Bedan, mais fait diminuer celle de Vilbéry et Damelot; enfin, la LB 3 n'a pas d'action très sensible sur Vilbéry, et encore moins sur Damelot.

Valeurs de $P(t)$: Bedan, M 45 (2) : 0,17
Vilbéry, M 45 (2) : 0,02
Damelot, M 45 (2) : 0,03

2) Les mêmes remarques peuvent être faites au sujet :

- a/ de l'extrait sec; quoiqu'ici, sous l'action de LB 3 sur Damelot, il diminue très légèrement ($P = 0,08$)
- b/ de l'extrait réduit; sur lequel l'action de LB 3 sur le moût Damelot devient nette, et presque sur Vilbéry ($P = 0,08$).
- c/ de l'alcool en puissance; où ici, au contraire, si l'action de

Caumont C2 reste nette sur les trois moûts, M 45 (2) n'agit encore pas sur celui de Bedan ($P = 0,10$) et peu sur celui de Damelot ($P = 0,05$); LB 3 n'ayant aucun effet net.

- d/ Ceci s'accroît encore au sujet du glucose, M 45 (2) n'ayant plus d'effet net sur Damelot;
- e/ davantage encore avec le lévulose où l'action de M 45 (2) n'est plus même que très faible sur Vilbéry ($P = 0,08$)
- f/ de même naturellement avec les sucres réducteurs (Pour M 45 (2) sur Vilbéry, on a $P = 0,05$).

3) La levure Caumont C2 ne fait pas varier nettement la teneur en cendres des moûts; tandis que M 45 (2) fait décroître celle des moûts de Bedan et Vilbéry et au contraire augmenter celle de Damelot ($P = 0,02$). LB 3 diminue la quantité des cendres de Vilbéry et n'agit pas nettement sur Damelot.

4) Caumont C2 abaisse la teneur en tanins des moûts Bedan et augmente celle de Vilbéry, et, mais beaucoup plus faiblement, celle de Damelot ($P = 0,07$). M 45 (2) n'a une action nette que sur le moût de Bedan qui devient moins riche en tanins. Quant à la levure LB 3, elle n'agit sur aucun des deux moûts sur lesquels nous l'avons essayée.

5) Toutes les levures consomment fortement l'azote des moûts quels qu'ils soient.

6) Les levures Caumont C2 et LB 3 augmentent l'acidité totale de tous les moûts, M 45 (2) n'augmente nettement que celle de Vilbéry, et dans ce cas, c'est en accroissant le taux d'acides fixes, tandis que l'augmentation, dans ce moût, due à Caumont C2 provient essentiellement de l'apparition d'acides volatils ($P = 0,02$) et peu d'acides fixes ($P = 0,05$); celle due à LB 3 a nettement les deux origines. De même, il semble que l'accroissement d'acidité totale du moût Damelot, sous l'action de LB 3, ait les deux origines, mais sans qu'ici, ni l'une ni l'autre ne soit nette. Pour ce moût, comme pour Bedan, la levure Caumont C2 n'agit que par augmentation des acides fixes.

7) L'alcool acquis augmente sous l'action de Caumont C2 dans les trois moûts; tandis que M 45 (2) en fait croître la teneur dans Bedan, peu dans Vilbéry ($P = 0,06$) et très peu dans Damelot ($P = 0,08$) et qu'enfin LB 3 n'a, à ce sujet, aucune action nette.

8) Les quantités d'alcool total diminuent sous l'action de Caumont C2 dans les moûts Bedan et Vilbéry, et sous celle de M 45 (2) chez Vilbéry seulement; ce qui montre que l'action de ces levures ne produit vraisemblablement pas uniquement de l'alcool, surtout en ce qui concerne Caumont C2. LB 3 n'a pas d'action nette, et aucune des levures essayées sur Damelot.

9) Enfin les quantités de saccharose diminuent nettement dans tous les mûts, et avec toutes les levures, sans que ce soit très net avec Caumont C2 sur Bedan.

Nous avons consigné aussi ces variations dans les graphiques relatifs aux différences d'action des levures sur les différents mûts.

CHAPITRE II

CORRELATION ENTRE LES DIVERS ELEMENTS DU CIDRE

Nous venons de mettre en évidence l'influence de plusieurs facteurs sur de nombreux éléments du cidre; mais peut-on considérer ces résultats comme distincts, ou en d'autres termes, tous les éléments envisagés varient-ils, dans leurs proportions; indépendamment les uns des autres ?

Il est bien évident que non pour certains. Par exemple l'alcool en puissance étant la somme des trois sucres du cidre variera naturellement comme eux, et surtout comme le lévulose qui est le sucre entrant en plus grande quantité dans le cidre. Il en sera vraisemblablement de même pour l'extrait sec et la densité.

L'alcool se formant aux dépens du sucre, on est en droit de s'attendre à trouver une corrélation négative étroite entre ces deux éléments.

Mais il sera intéressant, d'une part de préciser ces suppositions, d'autre part de chercher s'il n'existe pas de corrélations moins évidentes, ce qui pourra permettre de formuler quelques suggestions sur certains phénomènes chimiques dont le cidre est le siège.

L'existence de telles corrélations sera recherchée à partir des cidres de concours que nous avons étudiés pour rechercher l'influence des facteurs qualités et régions sur la composition; et non sur ceux que nous avons faits pour étudier les facteurs pommes et levures. En effet les premiers sont plus nombreux, donc permettront une étude plus précise, et on ne peut les combiner aux seconds, l'ensemble ne formant pas une population *homogène*.

Avant de calculer l'intensité de la liaison entre divers constituants, nous nous rendrons rapidement compte de l'existence possible et de la nature de cette liaison en établissant les graphiques de corrélation, et ceci pour chaque paire possible d'éléments.

On peut éliminer de cette manière, par un simple coup d'oeil, certains couples d'éléments qui ne présentent certainement aucune corrélation. Si au contraire elle est douteuse ou nette, on exécutera les calculs en entier pour la vérifier et en calculer l'intensité.

Ces graphiques permettent aussi de se faire une idée sur la nature de cette corrélation, en particulier de voir si elle est linéaire ou non. Il nous conduiront donc suivant les cas à calculer le coefficient ou le rapport de corrélation; parfois à tester la linéarité en calculant les deux.

Si la liaison observée est linéaire et étroite, nous serons même amenés à chercher les droites de régression correspondantes. Ce problème est d'autant plus intéressant que plusieurs auteurs proposent des tables, donnant, par exemple, le taux de sucre des cidres en connaissant la densité. Ces tables sont toutes plus ou moins approchées, mais aucune n'est correcte; nous verrons plus tard pourquoi, et si elles peuvent être perfectionnées. Nous verrons aussi si on peut les généraliser à d'autres éléments.

Enfin, ayant observé que, somme toute, il ne reste qu'assez peu d'éléments indépendants, nous en déduirons que l'étude des facteurs envisagés au chapitre précédent peut être simplifiée assez largement. En particulier la qualité devrait être déterminée par un petit nombre seulement d'éléments. Nous préciserons les résultats déjà obtenus en calculant le rapport de corrélation entre ceux-ci et le goût.

A/ GRAPHIQUES DE CORRELATION

Pour établir ces graphiques, nous distinguerons dans nos résultats toutes les causes contrôlées de variation de la composition chimique des cidres.

Il serait tout à fait normal en effet que suivant les régions les coefficients de corrélation soient différents, et même qu'ils varient, pour un cru donné, suivant la qualité.

Opérant de cette manière, nous ne pourrions pas grouper nos résultats en classes, ils seraient trop peu nombreux, et nous calculerons les coefficients de corrélation en les considérant comme mesures isolées.

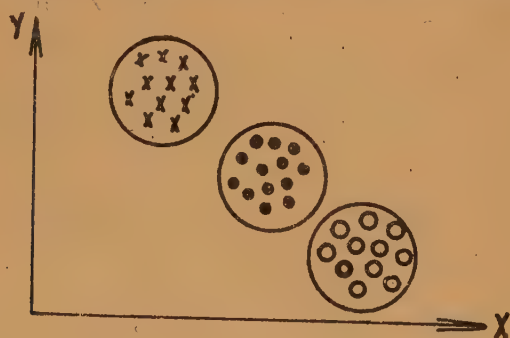
Dans chaque graphique, nous portons en coordonnées les valeurs trouvées, à l'analyse pour les éléments dont on cherche s'ils dépendent l'un de l'autre. Nous choisissons des échelles proportionnelles à la dispersion totale pour l'élément envisagé dans l'ensemble de notre population de cidres; c'est-à-dire que nous établissons des graphiques dont les points d'abscisse extrême sont, autant que possible, aussi distants que ceux d'ordonnée extrême. Sinon, nous déformerions l'aspect des nuages de points obtenus dans un sens ou dans l'autre, ce qui pourrait cacher des corrélations existantes ou en faire apparaître qui ne seraient pas réelles.

Ceci posé, nous représenterons différemment les points correspondants aux différentes régions et aux différentes qualités : En trait fort ceux correspondants aux cidres d'Ille et Vilaine, en trait pointillé ceux du Pays d'Auge, en trait fin ceux de la Sarthe; par des croix ceux de première qualité, des triangles ceux de seconde, et des cercles ceux de troisième.

Nous obtenons ainsi les graphiques suivants (Nous ne donnons pas ceux qui conduisent à rejeter toute corrélation).

D'après l'aspect des graphiques précédents nous sommes amenés à calculer les coefficients de corrélation relatifs à certains couples de résultats. Leur allure permettra d'indiquer si on peut grouper certaines classes ou s'il faut calculer un coefficient différent pour chacune. Elle permettra de voir aussi si l'on peut en outre calculer un coefficient de corrélation général, pour toutes les régions, quelle que soit la qualité des cidres, ou même pour tout l'ensemble de la population. (Il ne sera pas intéressant d'essayer un groupement par qualité quelle que soit la région, la différenciation de ces qualités étant le fait de jurys différents).

Elle montrera enfin qu'il peut n'y avoir parfois aucune corrélation dans les classes envisagées, mais néanmoins en exister



une pour l'ensemble des classes, ce qu'on pourrait schématiser comme ci-contre pour les trois qualités d'une région. C'est le signe qu'il n'y a pas de relation directe entre les teneurs de ces deux éléments, mais qu'ils dépendent tous deux d'un autre facteur comme par exemple la qualité.

B/ CALCUL DES COEFFICIENTS DE CORRELATION

Si nous appelons x les résultats relatifs au premier élément et $\bar{x}$ leur moyenne, y ceux relatifs au deuxième élément et $\bar{y}$ leur moyenne, N le nombre de couples de mesures, et r le coefficient de corrélation, celui-ci est donné par la formule classique :

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

Les termes $\sum (x - \bar{x})^2$ et $\sum (y - \bar{y})^2$ ont déjà été calculés précédemment, le numérateur peut s'écrire :

$$(x - \bar{x})(y - \bar{y}) = \sum xy - N\bar{x}\bar{y}$$

Il suffira donc de calculer la somme des produits xy , et le produit des moyennes $\bar{x}.\bar{y}$.

Nous ne rapporterons pas tous ces calculs ici; ce serait trop long et tous sont faciles à retrouver d'après les résultats donnés dans la première partie de ce travail. A titre d'exemple toutefois, nous effectuerons comme précédemment un calcul en entier.

En se rapportant aux tables de signification du coefficient de corrélation, on verra immédiatement si les valeurs trouvées sont significatives d'une corrélation ou non.

Exemple : Calcul du coefficient de corrélation de la densité (x) et de l'extrait sec (y) .

Les valeurs de x et de y ont déjà été indiquées. Nous donnerons donc seulement le tableau des produits xy et $N.\bar{x}.\bar{y}$.

TABLEAU DES PRODUITS $x.y$ ET $N.\bar{x}.\bar{y}$.

Très bons	Bons	Mauvais
5318,72 4484,375 2162,375 2901,03 $\Sigma xy = 14866,500$ $N\bar{x}.\bar{y} = 14466,595$ 399,905	1406,22 2045,68 1224,93 1867,32 2141,44 $= 8685,590$ $= 8589,645$ 95,945	1218,21 1743,50 1844,57 1514,28 1589,50 1762,695 $= 9672,755$ $= 9636,262218$ 36,492782
2758,47 3437,48 2000,70 $\Sigma xy = 8196,65$ $N\bar{x}.\bar{y} = 8115,1533$ 81,4967	892,62 502,97 1164,30 685,945 379,935 1595,640 1927,38 $= 7148,790$ $= 6712,7942$ 435,9958	516,36 139,80 112,60 43,80 817,275 340,12 $= 1969,955$ $= 1677,3288$ 292,6262
1128,54 2151,90 1603,68 1156,15 347,40 366,75 422,045 798,16 257,355 339,24 227,85 68,595 303,528 511,38 $\Sigma xy = 9682,570$ $N\bar{x}.\bar{y} = 8339,1784$ 1343,3916	160,24 112,975 141,72 111,09 68,20 185,465 427,44 248,16 356,49 373,425 898,92 76,09 636,975 55,975 126,275 $= 3939,440$ $= 3349,3560$ 590,084	87,75 258,40 301,545 37,065 17,56 0,00 15,38 141,275 17,65 $= 876,625$ $= 709,6527$ 166,9723

VIMOUTIERS

LE MANS

RENNES

Pour l'ensemble des régions, quelle que soit la qualité, on aura :

	VIMOUTIERS	LE MANS	RENNES
$\sum xy =$	33.224,845	= 17.314,7961	= 14.498,635
$N\bar{x}.\bar{y} =$	31.590,3663	= 14.081,0400	= 11.052,20424
$\sum xy - N\bar{x}.\bar{y} =$	1.634,4787	= 32233,7561	= 3.446,43076

et pour tous les cidres : $\sum xy = 65.038,2761$
 $N\bar{x}.\bar{y} = 47.644,5000$

$$\sum xy - N\bar{x}.\bar{y} = 17.393,7761$$

On en déduit les coefficients de corrélation suivants :

1) Cidres du Mans : a/ 1^o catégorie : On avait :

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 72,77 \quad \sum (y - \bar{y})^2 = 91,4362$$

$$r = \frac{81,4967}{81,5709} = 0,9991 \text{ valeur hautement significative.}$$

b/ 2^o catégorie : On avait :

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 233,9178 \quad \sum (y - \bar{y})^2 = 970,83334$$

$$r = \frac{435,9958}{476} = 0,915 \text{ valeur très significative.}$$

c/ 3^o catégorie : On avait :

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 145,535 \quad \sum (y - \bar{y})^2 = 743,59572$$

$$r = \frac{292,6262}{329} = 0,889 \text{ valeur significative.}$$

d/ Ensemble de ces cidres : On avait :

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 1609,75 \quad \sum (y - \bar{y})^2 = 6901,2$$

$$r = \frac{3233,7561}{3340} = 0,965 \text{ valeur très significative.}$$

2) Cidres de Vimoutiers : a/ 1^o Catégorie : On avait :

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 218,75 \quad \sum (y - \bar{y})^2 = 846,9982$$

$$r = \frac{399,905}{430} = 0,930 \text{ valeur très significative.}$$

b/ 2° catégorie : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 41,20$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 238,6653$$

$$r = \frac{95,945}{99,1} = 0,965 \text{ valeur très significative.}$$

c/ 3° catégorie : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 21,1284$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 112,380905$$

$$r = \frac{36,492782}{48,85} = 0,737 \text{ valeur significative.}$$

d/ Ensemble des cidres : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 621,2194$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 4789,78$$

$$r = \frac{1634,4787}{48,85} = 0,944 \text{ valeur très significative.}$$

3) Cidres de Rennes : a/ 1° catégorie : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 440,8223$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 6661,132825$$

$$r = \frac{1343,3916}{1715} = 0,784 \text{ valeur significative.}$$

b/ 2° catégorie : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 257,6$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 1795,93454$$

$$r = \frac{590,084}{680} = 0,868 \text{ valeur très significative.}$$

c/ 3° catégorie : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 106,7885$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 412,8084$$

$$r = \frac{166,9723}{210,4} = 0,792 \text{ valeur significative.}$$

d/ Ensemble de ces cidres : On avait :

$$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 1307,4822$$

$$\Sigma(y - \bar{y})^2 = 12.964,85$$

$$r = \frac{3446,43076}{4117} = 0,837 \text{ valeur très significative.}$$

4) Ensemble de tous les cidres de notre population : On avait :

$$\sum (x - \bar{x})^2 = 7336,738 \qquad \sum (y - \bar{y})^2 = 46.281,9576$$

$$r = \frac{17.393,7761}{18.440} = 0,943 \text{ Valeur hautement significative.}$$

Pour les autres couples d'éléments, rassemblons dans un tableau les valeurs de ces coefficients de corrélation, en omettant, s'il ne peut y avoir de doute, ceux qui ne sont pas significatifs, ou, pour les cas incertains les indiquant et les mettant entre parenthèses s'ils ne sont pas significatifs.

Eléments du couple	LE MANS				VIMOUTIERS				RENNES		
	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° Cat.	2° Cat.
alcool en puissance	1	0,971	0,989	0,885	(0,146)	0,751	0,962	0,989	0,824		
alcool acquis	-0,935	-0,686	(-0,072)	- 0,367	-0,780	(-0,610)	(-0,0855)	(-0,1464)	(-0,183)		
acidité volatile	-0,966	(0,5285)	(-0,317)	- 0,920	(0,3981)	(0,0204)					
alcool total	(-0,800)	(-0,2995)	(0,411)	(0,393)	(-0,587)						
glucose	0,925	0,697	0,775	(0,688)	(0,329)	0,774	0,779	0,806	0,971		
lévulose	(0,812)	0,775	0,973	0,915	(0,550)	(0,575)	0,932	0,952	0,851		
sucres réducteurs	0,998	0,961	0,985	0,890	(0,510)	(0,668)	0,706	0,881	0,885		
extrait réduit							0,842	0,606	(0,555)		
acidité volatile	-0,939	(0,2667)	(0,1321)	(-0,755)							
glucose	0,960	(-0,3138)	0,950	0,904	(0,409)	(0,213)	(0,468)	0,645	0,744		
alcool total							0,505	0,831			
alcool en puissance	1	0,917	0,899	0,930	(0,1319)	0,810	0,8152	0,886	0,7135		
alcool acquis	-0,880	(-0,3645)	(0,255)	(-0,535)	(-0,718)						
sucres réducteurs	0,997	0,891	0,895	0,988	(0,517)	0,887	0,804	0,885	0,710		
lévulose	(0,725)	0,900	0,845	0,930	(0,510)	0,895	0,805	0,851	0,695		
acidité fixe	0,915		(0,518)					0,610			
alcool total							(0,211)	0,780			
alcool total	- 0,938				-0,6955		(0,422)	0,597	(0,600)		

densité

extrait sec

cendres

Tannins

Elément du couple	LE MANS				VIMOUTIERS				RENNES			
	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.			
Extrait réduit	Acidité fixe	0,997	0,878	0,820	(0,592)	(-0,7075)	(0,214)		0,808	(-0,206)		
	cendres	0,948	(0,473)	0,841			(0,1238)	0,741	(0,3455)			
	Acidité totale	0,975	0,849	0,8455			0,795	0,857				
	Tanins	-0,929	(-0,222)	(-0,428)			(0,267)	0,508	(0,257)			
	Alcool acquis	(0,861)	0,8105	(0,616)			(0,2045)	0,879	0,7239			
Alcool en puissance	Alcool total	(0,742)	0,805	0,730			(0,418)	0,925	0,740			
	Alcool total	(0,863)	(0,576)	0,764	(0,769)		0,8165	0,826	0,732			
	Saccharose	(-0,800)				0,661						
	Alcool acquis	0,941	0,7255	0,712	-0,861	(0,535)	0,798	0,881	0,752			
	Acidité volatile	0,983	(-0,3481)	0,869	(0,494)		0,759					
	Acidité fixe	0,958	0,911	0,7945	0,756	0,966	0,956	0,980	0,930			
	Alcool acquis	(0,887)	0,905	(0,424)	-0,974	(0,623)	0,562	0,5985	0,740			
	Alcool total		0,782	(0,7065)		(0,704)	0,885	0,734	0,720			
	Alcool total	(-0,720)										
	Glucose	(0,960)	(0,602)	0,735	(0,7915)	(0,7315)	0,3595	0,710	0,733			
lévulose	0,880	0,995	0,999	0,9798	0,869	0,919	0,967	1				
sucre réducteurs	1	0,975	1	0,960	0,896	0,937	1	1	0,9905			

Eléments du couple	LE MANS			VIMOUTIERS			RENNES		
	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.	1° Cat.	2° Cat.	3° Cat.
Glucose	(-0,723)	(-0,5436)		(-0,6285)		-0,750			
Lévulose	-0,991	-0,691		-0,704					
sucres réducteurs	-0,894	-0,707		-0,7025					
Alcool en puissance	-0,891	-0,685		(-0,796)	(-0,646)				
Alcool total	0,971	0,850	0,890		0,942	0,870	0,895	0,9475	0,991
Lévulose				0,840			0,602	0,6951	0,8945
sucres réducteurs	0,9615		0,743	0,904	0,810		0,782	0,7623	
sucres réducteurs	(0,7345)	0,993	0,995	0,990	0,941	0,9815	0,995	0,999	0,998

Ces tableaux donnent les coefficients de corrélation séparément par région et par qualité. Nous indiquons dans les suivants les coefficients de corrélation généraux, pour l'ensemble de chaque région, et pour l'ensemble de toutes les régions (ou de deux seulement si la troisième diffère trop sensiblement du groupement général) dans ce cas nous le spécifions en indiquant les initiales des villes (L, V, R) où ont eu lieu les concours auxquels ces cidres ont été prélevés).

TABEAU DES COEFFICIENTS DE CORRELATION GENERAUX

Eléments du couple		Le Mans	Vimoutiers	Rennes	Ensemble des , régions
DENSITE	Alcool en puissance	0,990	0,861	0,956	0,969
	Alcool acquis	-0,696	-0,631	(-0,2043)	-0,3495
	Extrait réduit				0,516
	Acidité volatile	(-0,344)	(-0,464)		(-0,1826)
	Acidité totale				-0,521 (L/V)
	Alcool total		(0,366)		0,3132
	Glucose	0,802	0,809	0,750	0,995
	Lévuiose	0,925	0,862	0,892	0,947
	sucres réducteurs	0,991	0,746	0,853	0,925
EXTRAIT SEC	Extrait réduit			0,847	0,7065
	Acidité volatile	(-0,2732)	(-0,463)		-0,871 (L/V)
	Glucose	0,6755	0,904	0,611	0,748
	Lévuiose	0,9575	0,9425	0,806	0,937
	Sucres réducteurs	0,966	0,951	0,847	0,933
	Alcool en puissance	1	0,943	0,879	0,940
	Alcool acquis	-0,5415	-0,600		-0,686
	Alcool total			0,4705	0,470

Eléments du couple		Le Mans	Vimoutiers	Rennes	Ensemble des régions
TANIN	Alcool total		(-0,466)	0,547	
	Acidité fixe	0,845		(0,1957)	0,350
EXTRAIT REDUIT	Sucres réducteurs			0,4265	0,419
	Cendres	0,673		(0,315)	0,361
	Acidité totale	0,852		0,378	0,408
	Tanins	(-0,348)		(0,2097)	
	Alcool en puissance				0,431
	Alcool acquis	0,7115		0,410	0,704 (L/R)
	Alcool total	0,711		0,589	0,600 (L/R)
	Acidité volatile				0,4125(L/R)
CENDRES	Alcool en puissance		0,652	0,315	
	Alcool total		0,521	0,3493	0,525
	Acidité totale	0,669			0,409
	Acidité fixe			(0,174)	0,466
	Alcool total	0,725		0,710	0,745
ACIDITE TOTALE	Alcool acquis	0,759		0,803	0,708
	Saccharose		0,646		

Eléments du couple		Le Mans	Vimoutiers	Rennes	Ensemble des régions
ACIDITE TOTALE	Acidité volatile	0,5376			0,445
	Acidité fixe	0,798	0,848	0,975	0,914
ACIDITE FIXE	Alcool acquis	0,7175		0,646	0,571
	Alcool total	0,7035	0,549	0,7335	0,720
ALCOOL ACQUIS	Glucose	(-0,713)	-0,527		
	Lévalose	-0,640	-0,5215		-0,652 (L/V)
	Sucres réducteurs	-0,7075	-0,5329		-0,525 (L/V)
	Alcool en puissance	-0,699	-0,613		-0,719 (L/V)
	Alcool total	0,688	0,3265	0,9026	0,759
ALCOOL EN PUISSANCE	Alcool total		0,629		0,346
	Glucose	0,814	0,9405	0,766	0,862
	Lévalose	0,977	0,993	0,890	0,988
	Sucres réducteurs	0,995	0,985	0,999	0,998
GLUCOSE	Lévalose	0,663	0,909	0,631	0,7785
	Sucres réducteurs	0,7935	0,950	0,762	0,848
LEVULOSE	Sucres réducteurs	0,980	0,989	0,935	0,991

C/ INTERPRETATION DES CORRELATIONS OBSERVEES

L'on remarquera tout d'abord que les cidres du Pays d'Auge se distinguent nettement des autres, en ce sens que leurs éléments présentent beaucoup moins souvent de corrélation entre eux, et même parfois en sens inverse de ceux des autres régions. Au contraire ceux d'Ille et Vilaine et de la Sarthe sont beaucoup plus semblables à ce sujet et présentent souvent des coefficients de corrélation très voisins et ne différant pas significativement; il semblerait, qu'à ce point de vue, on puisse considérer les cidres de Rennes comme prolongeant ceux du Mans, mais moins riches, les premiers ne se distinguant des seconds, quant à leurs teneurs dans leurs constituants caractéristiques que par une translation linéaire, un déplacement des axes parallèlement à eux-mêmes. Ceci indiquerait que les cidres rennais résultent de rémiages, ou ont été faits dans leur ensemble avec des pommes moins riches que ceux de la Sarthe.

On notera par ailleurs que les variations observées de la densité et des taux d'extract sec sont dues surtout à des variations correspondantes des teneurs en sucre. Pour les cidres de Vimoutiers, le phénomène est moins net à l'intérieur de chaque classe; il le reste pour l'ensemble. Mais le nuage des points des graphiques correspondants a une disposition d'orientation générale nettement différente de celle fournie par les cidres du Mans et de Rennes, et présente une dispersion plus grande; d'ailleurs, ceux-ci à densité ou extract sec égal contiennent plus de sucres que ceux de Vimoutiers, sauf en 1^{re} catégorie où ils en auraient plutôt moins.

Conjointement, la densité et l'extract sec diminuent et le degré alcoolique réel augmente; mais ceci est moins net, surtout chez les cidres d'Ille et Vilaine, et de plus, le taux de décroissance de la densité étant moins accentué à Vimoutiers qu'au Mans, le coefficient de corrélation général s'en trouvera encore affaibli.

L'acidité volatile semble aussi avoir tendance à faire décroître la densité et l'extract sec, surtout, dans ce dernier cas, si l'on considère l'ensemble des cidres de Vimoutiers et du Mans.

Au contraire, ces deux facteurs, et surtout l'extract sec, ont tendance à augmenter avec l'extract réduit dans l'ensemble, mais moins que sous l'effet des sucres.

L'on note enfin une corrélation positive, mais pour l'ensemble seulement entre densité ou extract sec et taux d'alcool total. Nous croyons qu'il nous faut voir là, non une relation causale, mais une concomitance seulement, les deux phénomènes indiquant, en somme, la richesse des cidres.

Une corrélation intéressante à noter est celle, positive entre les teneurs en acides fixes et extract réduit; nette surtout pour chaque catégorie des cidres du Mans : elle semblerait indiquer que l'extract réduit se compose surtout d'acides fixes.

Naturellement, ceux-ci, ceux-ci constituant comme le montrent d'ailleurs les coefficients de corrélation correspondants, la majeure partie de l'acidité totale, l'on retrouve encore un rapport net entre acidité totale et extrait réduit.

Celui-ci augmente aussi en même temps que les matières minérales, phénomène normal et prévu, puisque c'est une grande partie de ses éléments qui constitueront après calcination la totalité des cendres. Notons toutefois que les cidres de Vimoutiers ne présentent pas cette corrélation.

Son rapport avec l'alcool total mérite la même explication que pour celui de la densité ou de l'extrait sec; il est plus net que ce dernier, en effet les sucres sont compris dans l'extrait sec et ne montrent qu'une corrélation assez faible avec l'alcool total.

Ce qui semble plus curieux est la corrélation, même assez intense, observée entre extrait réduit et alcool acquis, sauf pour les cidres de Vimoutiers, et d'autant plus que l'extrait réduit a tendance, tout au moins dans l'ensemble, à augmenter avec les sucres.

L'augmentation des quantités de cendres en même temps que d'acide ou d'alcool total doit encore être considérée comme une concomittance; indice commun d'une richesse générale plus grande des cidres.

Les corrélations négatives trouvées dans certains cas pour les cidres de la Sarthe et du Pays d'Auge entre tanins et alcool total doivent être vraisemblablement attribués à la nature des pommes; celles amères étant moins sucrées (cf. dans l'étude des causes de variation Pommes/Levures que les Vilbéry sont les plus amères et moins sucrées) et partant donneront moins d'alcool. Le rôle de la levure pourrait être aussi freiné par les tanins. Au contraire dans l'Ille et Vilaine où on est plus éloigné des maximums possibles, la corrélation positive observée, indiquerait encore, à notre avis, un cidre plus riche.

Les corrélations observées entre l'acidité totale et les acidités volatile et fixe confirment que cette dernière constitue la partie la plus importante de l'acidité totale des cidres.

Il va être des plus intéressant d'étudier la nature de la corrélation positive notée entre acidité totale et alcool total. Nous remarquerons tout d'abord, qu'elle est due uniquement au parallélisme des variations de l'alcool total et des acides fixes : les acides volatils, d'ailleurs bien moins importants, comme nous venons de le dire, n'interviennent pas du tout, ou pour perturber la netteté de ces phénomènes : par exemple, le coefficient de corrélation entre ces deux éléments pour les cidres de 1^o catégorie de Vimoutiers, est négatif et très voisin du seuil de signification

(-0,769), alors qu'il est positif dans la Sarthe et l'Ille et Vilaine; mais si nous ne considérons que les acides fixes, cette corrélation négative anormale disparaît pour cette qualité du Pays d'Auge, tandis qu'elle reste significative et toujours positive pour les autres régions. Nous remarquerons encore que cette corrélation provient surtout du rapport entre acides fixes et alcool acquis. Ici encore, on voit en effet que l'alcool total est fonction de l'alcool acquis, bien plus que de l'alcool en puissance : il semble, qu'il n'y aurait qu'à Vimoutiers pour les cidres de 1^o catégorie que l'alcool en puissance serait plus important (coefficient de corrélation négatif entre alcool acquis et acidité fixe, alors qu'il est positif pour les autres classes). D'ailleurs comme on le voit à côté, l'alcool acquis augmente quand l'alcool en puissance diminue, sauf chez les cidres de Rennes : ces variations ont donc plutôt tendance à se compenser dans celles de l'alcool total : il est donc normal de trouver un effet plus marqué du taux d'acides fixes sur celui d'alcool acquis, que sur celui d'alcool total, sauf dans la région rennaise.

Pour expliquer cette corrélation, diverses hypothèses sont possibles, dont la plus vraisemblable est l'augmentation du pouvoir fermentatif de la levure, donc de sa capacité de produire de l'alcool, quand le pH diminue, dans certaines limites bien entendu. On pourrait supposer aussi qu'il peut y avoir formation simultanée, donc à partir d'une même substance de corps à fonction acide et d'autres à fonction alcool. Cette deuxième hypothèse nous semble plus fragile et en tout cas insuffisante à justifier ces observations car les quantités d'alcool qui pourraient prendre naissance ainsi seront toujours très petites par rapport à l'alcool éthylique des cidres. Par contre elle paraît mieux expliquer que la première, que ce soient les mêmes levures qui donnent le plus d'alcool et le plus d'acides dans les cidres, comme on l'a vu dans l'étude séparée de l'influence des levures sur la composition des cidres.

Comme il était légitime de s'y attendre, les teneurs en alcool acquis sont d'autant plus élevées que celles en sucres sont plus faibles. Mais la corrélation est bien moins étroite qu'on aurait pu le supposer, en particulier, elle n'est jamais significative pour les cidres de Rennes. et on remarque de plus que si le taux de sucre diminue fortement de la première qualité à la troisième dans chaque région, le degré alcoolique augmente, proportionnellement beaucoup moins. On peut invoquer plusieurs raisons pour l'expliquer.

Tout d'abord, que l'on n'a jamais à faire à une fermentation alcoolique pure, mais qu'il y a toujours formation de sous-produits à côté de l'alcool, et d'autre part que d'autres agents que les levures agissent aussi dans ce milieu complexe.

Mais cette raison ne peut être que bien insuffisante, les deux essentielles sont à nos yeux :

a) La diversité des pommes utilisées pour faire ces divers cidres, dont aucune n'a au départ la même richesse en sucres et qui peuvent donc donner des cidres à même degré alcoolique, mais plus ou moins sucrés, ou des cidres ayant les mêmes teneurs saccharines, mais plus ou moins riches en alcool.

b) Le fait que dans la fabrication de certains on a ajouté de l'eau, ce qui diminue en même temps dans des proportions égales les taux de sucres et d'alcool (vraisemblablement à Rennes surtout).

Il ressort enfin de ces études sur le coefficient de corrélation que le saccharose n'intervient que pour une part insignifiante, par rapport aux autres sucres, et le glucose beaucoup moins que le lévulose, dans la teneur totale des cidres en sucres, mais, ce qui est très intéressant, que les teneurs en glucose sont liées assez étroitement à celles de lévulose. Ce fait tend à prouver que ces deux sucres ont une origine commune, vraisemblablement l'hydrolyse du saccharose dans la pomme, ce qui confirme l'hypothèse de LINDET; mais que l'un des sucres, en l'espèce le glucose, disparaît plus vite que l'autre, soit au cours des phénomènes respiratoires de la maturation des pommes, soit au cours de la fermentation, mais dans des proportions néanmoins liées à celles du lévulose, ce qui n'avait pas encore été noté.

En dehors de ces remarques fournies par l'étude des coefficients de corrélation, la considération des graphiques permet encore quelques remarques.

On note par exemple, en regardant la répartition de l'alcool acquis en fonction de l'acidité volatile que dans l'ensemble aux teneurs élevées en acides correspondent des teneurs élevées en alcool, mais aux faibles, en correspondent aussi bien de faibles que d'élevées. Une explication facile permet d'expliquer cette remarque : Ce ne sont presque toujours que les cidres vieux, entièrement fermentés, donc de haut degré alcoolique, qui s'acétifient anormalement.

On s'aperçoit aussi en observant les graphiques relatifs à l'alcool total et l'extract sec ou l'alcool en puissance, ou ceux relatifs à l'alcool acquis et l'alcool en puissance ou les sucres réducteurs ou le lévulose que les cidres de Rennes de 2^e catégorie présentent une double répartition, ceux de 1^e catégorie aussi, mais bien moins nettement. C'est à dire qu'ils se placent très sensiblement sur deux courbes assez régulières. Nous attribuerons ce fait au rémâge ou au mouillage : à des valeurs identiques des sucres ou de l'extract sec correspondant deux valeurs différentes de l'alcool acquis ou de l'alcool total. L'une relative aux cidres pur jus, l'autre à ceux qui ont été faits avec addition d'eau; l'écart entre ces valeurs est d'autant plus grand que l'on aura utilisé plus d'eau pour les rémâges.

L'importance variable de ceux-ci se voit surtout dans les graphiques où intervient l'alcool total. En effet pour les cidres

faits avec addition d'eau, les graphiques possèdent la forme générale : accroissement de l'alcool total avec l'extrait sec ou l'alcool en puissance, ces éléments, étant, comme nous l'avons vu, en quantités proportionnelles à la richesse du cidre, au contraire, pour les purs jus, les graphiques font, dans le cas de ces cidres de Rennes exception, et l'alcool total varie en sens inverse des sucres ou de l'extrait sec; les deux courbes se rapprochent donc très vite quand le mouillage devient plus faible.

Dans les graphiques relatifs à l'alcool acquis au contraire, quels que soient les cidres, purs jus ou non, le degré alcoolique décroît quand la quantité de sucre restant augmente. La seule chose est que la pente de la courbe des cidres de rémiage est plus faible que celle des purs jus, étant donné que ces cidres ne sont pas tous faits par addition d'égales quantités d'eau. Ici encore ces deux courbes se rapprochent donc, mais moins vite que dans le premier cas, quand le mouillage devient moins important.

Ces remarques doivent pouvoir servir de base au calcul du mouillage. Malheureusement, celui-ci ne pourra se faire que dans les cas où, comme ici, il y a une distinction nette des cidres purs jus ou non.

Ce calcul se conçoit de lui-même en considérant par exemple les graphiques Alcool acquis/Sucres réducteurs, particulièrement nets. Les cidres purs jus se répartissent sur une courbe (C) dont on peut calculer l'équation qui sera de la forme :

$$Y = \frac{k}{X - X_0}$$

Un cidre quelconque aura une teneur x en alcool acquis, y en sucres réducteurs, nous chercherons le coefficient a , qui indiquera le mouillage, tel que, en multipliant x et y par ce coefficient a on trouve un point de la courbe (C); on devra donc avoir :

$$ay = \frac{k}{ax - X_0}$$

$$\text{d'où : } a = \frac{X_0 y + \sqrt{y^2 X_0^2 + 4 kxy}}{2xy}$$

en ne conservant que les solutions toujours positives.

Les valeurs k et X_0 caractérisent les cidres purs jus de la catégorie et de la région considérées.

D/ CALCUL DES RAPPORTS DE CORRELATION.

La répartition de quelques couples d'éléments, bien que présentant une certaine liaison n'est pas toujours linéaire. Il nous faudra cette fois, pour préciser cette dépendance, calculer le "rapport de corrélation". Dans d'autres cas, où il peut y avoir doute, on pourra tester cette linéarité en calculant encore le rapport de corrélation et cherchant s'il diffère significativement ou non du coefficient de corrélation.

Notre échantillonnage étant peu important, nous ne pourrions calculer ces rapports de corrélation que pour l'ensemble de notre population. Nous devons pour cela la diviser en classes, qui ne doivent pas être trop nombreuses pour contenir un nombre suffisant de mesures chacune. Nous serons amenés, en général, à faire cinq classes. Nous prendrons le centre des classes moyennes comme origines de travail et l'intervalle de classe comme unité.

Cette manière d'opérer introduira quelques erreurs, mais inévitables, dans les résultats, puisque nous supposons les cidres groupés au centre de chaque classe. Nous jugeons cependant inutile de faire la correction de SHEPPARD.

Le rapport de corrélation de y en x est donné par la formule :

$$\eta^2_{y,x} = \frac{\sum n_C (\bar{y}_C - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

$\eta_{y,x}$ = rapport de corrélation de y en x
 n_C = nombre de mesures y dans la bande C
 $\bar{y}_C$ = moyenne des mesures y dans la bande C
 $\bar{y}$ = moyenne générale des mesures y

On peut aussi calculer le rapport de corrélation de x en y, qui serait donné, avec les notations analogues (division en colonnes R au lieu de bandes C) :

$$\eta^2_{y,x} = \frac{\sum n_R (\bar{x}_R - \bar{x})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

Calculons les à titre d'exemple pour un tableau. Nous donnerons seulement les résultats pour les autres.

Nous allons effectuer ce calcul pour le couple alcool total (x), extrait réduit (y). Prenons comme origine pour l'alcool total le centre de la classe moyenne, soit 5,25 et comme intervalle de classe 1,5; pour l'extrait réduit 22,5 pour origine

et 9 pour unité (intervalle de classe). Nous obtenons le tableau suivant, indiquant le nombre de résultats n_{RC} dans chaque classe et comportant tous les éléments du calcul.

Nous avons $\sum n_C \bar{y}_C = N\bar{y} = -20$ d'où : $\bar{y} = -\frac{20}{69} = -0,29$

$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum n_{Ry}^2 - N\bar{y}^2 = 66 - \frac{(20)^2}{69} = 60,203$$

$$\sum n_C (\bar{y}_C - \bar{y})^2 = \sum n_C \bar{y}_C^2 - N\bar{y}^2 = 23,944 - \frac{(20)^2}{69} = 18,147$$

$$\text{d'où : } \eta_{y,x}^2 = \frac{18,147}{60,203} = 0,301 \quad \eta_{y,x} = 0,549$$

Pour tester si cette valeur est significativement différente de zéro, nous devons calculer le rapport :

$$\frac{N - K}{K - 1} \times \frac{\eta^2}{1 - \eta^2}$$

K étant le nombre de bandes découpées dans la population des x. Nous avons en général K = 5 ; si nous adoptons le seuil de signification 5%, la table de SNEDECOR indique, ligne N - K = 64 et colonne K - 1 = 4 que ce rapport doit avoir une valeur au moins égale à 2,53 pour que η soit significativement différent de zéro.

$$\text{On devra donc avoir : } \frac{64}{4} \times \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \gg 2,53$$

$$\text{d'où } \eta^2 \gg 0,1365 \quad \text{et } \eta \gg 0,37$$

La valeur trouvée ici est donc nettement significative.

De même, nous aurons à comparer, pour tester la linéarité de la corrélation, les valeurs que nous avons trouvées plus haut pour r et celles que nous calculons ici pour η

Nous formons pour cela le rapport :

$$\frac{N - K}{K - 2} \times \frac{\eta^2 - r^2}{1 - \eta^2}$$

Puisqu'encore nous prenons en général K = 5, la table de SNEDECOR indique que pour que η soit significativement supérieur à r, ce rapport doit être au moins égal à 2,76. Nous trouvons en résolvant cette inégalité, qu'il faut que l'on ait :

$$1,13 \eta^2 \gg r^2 + 0,13$$

La corrélation ne sera alors pas linéaire.

ALCOOL TOTAL

Limite des classes	1,5	3	4,5	5,75	6	7,5	9	Total	n_{Ry}	n_{Ry}^2
	Ecart par rapport à l'origine	- 2	- 1	0	1	2				
45	2	-	1	-	2	-		3	6	12
36	1	-	1	5	3	1		10	10	10
27	0	-	-	9	12	3		24	-	-
18	- 1	8	7	8	5	-		28	- 28	28
9	- 2	4	-	-	-	-		4	- 8	16
0										
Total n_C		12	9	22	22	4		N=69	N _{yr} -20	66
$n_C \bar{y}_C = \sum n y_i$		16	- 4	- 3	2	1		- 20		
$\bar{y}_C$		- 1,333	- 0,444	- 0,136	0,091	0,250				
$n_C \bar{y}_C^2$		21,328	1,776	0,408	0,182	0,250		23,944		

Nous trouvons que seule la corrélation glucose/lévulose n'est pas linéaire ($\eta_{y,x} = 0,844$).

Pour tous les autres, η ne diffère pas sensiblement de r ; en particulier pour les couples : Densité, extrait sec, alcool en puissance ou sucres réducteurs/Glucose, et Densité, cendres, extrait sec, acidité fixe ou alcool en puissance/Alcool total. Par exemple, pour le couple Acidité fixe/Alcool total, nous trouvons :

$$\eta_{y,x} = 0,762$$

$$\eta_{x,y} = 0,746$$

Nous avons $r = 0,720$

Les autres rapports de corrélation calculés sont d'autre part :

Alcool total x /				
Extrait réduit y	:	$\eta_{y,x} = 0,549$	Valeur significative	
Acidité volatile (x)/				
Alcool acquis (y)	:	$\eta_{y,x} = 0,373$	Valeur juste significative	
Glucose (x)/				
Alcool acquis (y)	{	$\eta_{y,x} = 0,3015$	" non "	
	{	$\eta_{x,y} = 0,324$	" -id- "	
Saccharose (x)/				
Alcool acquis (y)	:	$\eta_{y,x} = 0,305$	" -id- "	
	{	$\eta_{x,y} = 0,311$	" -id- "	

E/ CALCUL DES COEFFICIENTS DE REGRESSION.

EQUATIONS DES DROITES DE REGRESSION.

Dans le cas où les études précédentes nous ont indiqué des liaisons linéaires étroites, il sera intéressant de déterminer les droites de regression qui représentent le lieu du centre de la distribution d'un des éléments du couple connaissant l'autre. Or si la liaison est étroite, la répartition expérimentale s'écartera peu de ces droites, et l'on pourra déduire la valeur d'un des éléments à partir de celle de l'autre avec une précision suffisante, sans avoir à le doser séparément.

L'idée est séduisante, et de fait elle a attiré un certain nombre de chercheurs qui ont voulu en particulier donner des tables permettant de connaître la richesse en sucres d'un moût et

même d'un cidre, connaissant sa densité (TRUELLE, LE CHARTIER, TAVERNIER). Mais à l'usage, ces tables se sont révélées parfois assez imprécises. Il est facile de le comprendre. Ces auteurs ont voulu les faire trop générales, et il nous suffit par exemple de consulter notre graphique de corrélation relatif à la densité et à l'alcool en puissance (ce qui revient au même que les sucres totaux) où nous avons pris soin de représenter différemment nos diverses catégories de cidres, pour y remarquer que les cidres de Vimoutiers de 1^o catégorie d'une part, de 2^o et 3^o catégorie d'autre part, n'ont pas du tout la même répartition et que ni les uns ni les autres n'ont celle des cidres du Mans et de Rennes.

Si l'on veut donc établir des tables de ce genre, il faut avoir soin de ne le faire que pour des échantillons homogènes et de limiter leur emploi à des cidres issus de mêmes populations.

Pour reprendre cet exemple, si nous cherchons pour toutes les classes de cidres où nous avons trouvé un coefficient de corrélation significatif, l'équation des droites de régression, nous trouvons, en appelant x la partie décimale de la densité, y l'alcool en puissance :

$$\begin{array}{ll} 1) \text{ Le Mans : } 1^{\circ} \text{ cat.} & y = - 0,500 + 0,1306 x \\ & x = 3,93 + 7,66 y \\ & 2^{\circ} \text{ cat.} & y = - 0,525 + 0,1309 x \\ & & x = 5,02 + 7,20 y \\ & 3^{\circ} \text{ cat.} & y = - 0,223 + 0,094 x \\ & & x = 2,51 + 10,4 y \end{array}$$

soit pour l'ensemble de cette région :

$$y = - 0,471 + 0,1277 x \quad x = 3,975 + 7,69 y$$

$$\begin{array}{ll} 2) \text{ Vimoutiers : } 1^{\circ} \text{ cat.} & y = 2,13 + 0,056 x \\ & x = - 22,05 + 14 y \\ & 3^{\circ} \text{ cat.} & y = - 1,57 + 0,149 x \\ & & x = 17,03 + 3,78 y \end{array}$$

soit pour l'ensemble de cette région :

$$y = - 1,13 + 0,134 x \quad x = 13,42 + 5,55 y$$

$$\begin{array}{ll} 3) \text{ Rennes : } 1^{\circ} \text{ cat.} & y = - 0,206 + 0,1104 x \\ & x = 2,73 + 8,38 y \\ & 2^{\circ} \text{ cat.} & y = - 0,440 + 0,121 x \\ & & x = 3,75 + 8,09 y \\ & 3^{\circ} \text{ cat.} & y = - 0,066 + 0,071 x \\ & & x = 1,844 + 9,55 y \end{array}$$

soit pour l'ensemble de cette région :

$$y = - 0,247 + 0,109 x \quad x = 2,96 + 8,40 xy$$

et la population totale serait répartie suivant les droites :

$$y = -0,300 + 0,112 x \quad x = 3,590 + 8,370 y$$

équations, qu'il ne faudrait d'ailleurs pas vouloir étendre inconsidérément à tous les cidres, d'où qu'ils proviennent, quelles que soient leur qualité et l'année de leur fabrication.

L'équation généralement admise est :

$$y = -0,12 + 0,129 x$$

Nous pouvons représenter ces différentes droites sur un graphique, et nous constatons bien entendu encore une fois que les droites relatives aux 1^o et 3^o catégories de Vimoutiers sont très distinctes les unes des autres, et distinctes aussi de celles du Mans et de Rennes.

On peut calculer des équations semblables pour plusieurs autres couples d'éléments. Ce calcul est très simple, et nous en avons tous les éléments. Avec les notations déjà employées, nous avons en effet comme équation générale :

$$(y - \bar{y}) = b_{y,x}(x - \bar{x}) \quad \text{et} \quad (x - \bar{x}) = b_{x,y}(y - \bar{y})$$

$b_{y,x}$ étant le coefficient de régression de y en x , qui est égal à :

$$\frac{\sum y(x - \bar{x})}{\sum (x - \bar{x})^2} = \frac{\sum xy - N\bar{x}.\bar{y}}{\sum (x - \bar{x})^2} \quad \text{ou} \quad r \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}}$$

$b_{x,y}$ étant le coefficient de régression de x en y , qui est égal à :

$$\frac{\sum xy - N\bar{x}.\bar{y}}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad \text{ou} \quad r \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}$$

$$b_{y,x} \times b_{x,y} = r^2$$

soit par exemple pour les droites de régression relatives à la densité (x) et l'extrait sec (y) pour les cidres de 1^o catégorie du Mans :

$$b_{y,x} = 0,9991 \sqrt{\frac{91,4362}{72,77}} = 1,122$$

$$y = 83,67 + 1,122(x - 32,32) = 47,42 + 1,122 x$$

$$b_{x,y} = 0,9991 \sqrt{\frac{72,77}{91,4362}} = 0,890$$

$$x = 32,33 + 0,89(y - 83,67) = - 42,17 + 0,89 y$$

Voici encore quelques autres résultats : (Cf. pages suivantes).

F/ RAPPORT DE CORRELATION ENTRE LES ELEMENTS DU CIDRE ET LE GOUT.

Les études précédentes sur l'interdépendance des constituants du cidre entre eux nous montrent qu'en somme les facteurs étudiés agissent sur un petit nombre seulement, et que ce sont les variations de ces éléments qui, à leur tour, entraînent les autres.

Il est donc vraisemblable qu'un petit nombre de mesures sera susceptible de donner des valeurs suffisamment approchées des quantités de nombreuses substances contenues dans le cidre, sans toutes les doser, les équations manquantes, étant remplacées par ces relations de dépendance. Or le goût étant naturellement fonction de la constitution chimique des cidres, il doit être possible de le déterminer justement par ces quelques mesures. Il est même permis de penser que les quantités de certains corps que nous n'avons pas dosés ici sont liées à celles des éléments dosés. Cette lacune sera donc peu importante, même si ces corps ont un rôle sur la qualité du cidre.

En résumé, les cidres de diverses qualités ne diffèrent de composition entre eux essentiellement que par des teneurs différentes en un petit nombre d'éléments, différences qui se répercutent sur plusieurs autres. Ayant déterminé quels étaient ces constituants de base, essayons maintenant de préciser l'intensité du lien qui les relie au goût.

Celui-ci ne pouvant être chiffré, nous ne pouvons pas calculer de coefficient de corrélation, qui exige que les deux termes comparés soient mesurables, mais nous calculerons le rapport de corrélation, ce qui peut se faire si une seule des variables l'est.

Les mêmes remarques que précédemment s'appliquent; ces rapports de corrélation ne pourront être calculés que sur la population totale, sans distinguer les différentes régions. Nous découperons encore 5 bandes dans la distribution des éléments envisagés (x) et considérerons d'autre part les 3 qualités (y) de cidres? Avec ces données, on voit facilement que le rapport de corrélation est significatif s'il est supérieur à 0,295 ($r_{x,y} > 0,295$)

populat- tion totale	Densité (x) Extrait sec(y)		Densité (x) Sucres réducteurs(y)		Extrait sec (x) Alo.en puissance (y)		Acidité totale (x) Acidité fixe (y)	
	y	x	y	x	y	x	y	x
1° Cat.	y = 10,256 + 2,364 x	x = 2,2580 + 0,375 y	y = -2,13 + 1,725 x	x = 3,158 + 0,499 y	y = -0,61 + 0,0432 x	x = 18,036 + 20,33 y	y = -0,0929 + 0,7585 x	x = 0,4776 + 1,098 y
	y = 47,42 + 1,122 x	x = -42,17 + 0,89 y	y = -3,56 + 2,051 x	x = 1,8233 + 0,486 y	y = -6,61 + 0,1233 x	x = 49,66 + 9,085 y	y = 0,3677 + 0,5255 x	x = -0,453 + 1,745 y
2° Cat.	y = 21,77 + 1,87 x	x = -2,51 + 0,448 y	y = 16,230 + 2,131 x	x = 3,9314 + 0,434 y	y = -1,53 + 0,0605 x	x = 29,9843 + 13,9 y	y = -1,625 + 1,211 x	x = 1,652 + 0,6845 y
	y = 16,817 + 2,01 x	x = -4,82 + 0,392 y	y = -2,14 + 1,596 x	x = 1,5533 + 0,607 y	y = -0,709 + 0,0378 x	x = 21,607 + 21,33 y	y = 0,3997 + 0,4773 x	x = 0,536 + 1,384 y
total	y = 18,402 + 2 x	x = -7,525 + 0,466 y	y = -5,77 + 2,095 x	x = 2,995 + 0,4685 y	y = -1,464 + 0,0603 x	x = 25,962 + 15,59 y	y = -1,0557 + 0,6753 x	x = 1,162 + 0,9385 y
	y = 37,765 + 1,83 x	x = -12,15 + 0,472 y	y = 33,23 + 0,939 x	x = -20,40 + 0,841 y	y = 1,107 + 0,02987 x	x = -18,585 + 29 y		
1° Cat.	y = 10,735 + 2,24 x	x = -0,8 + 0,387 y					y = -0,758 + 1,142 x	x = 0,759 + 0,816 y
2° Cat.	y = 23,759 + 1,677 x	x = 4,147 + 0,315 y					y = 0,48 + 0,545 x	x = -0,065 + 1,385 y
3° Cat.	y = 0,566 + 2,617 x	x = 2,067 + 0,34 y	y = -8,79 + 1,854 x	x = 14,9667 + 0,3016 y	y = -2,80 + 0,074 x	x = 45,513 + 10,01 y	y = 0,287 + 0,6732 x	x = 0,562 + 0,958 y
total	y = 0,566 + 2,617 x	x = 2,067 + 0,34 y	y = -8,79 + 1,854 x	x = 14,9667 + 0,3016 y	y = -1,388 + 0,0528 x	x = 31,666 + 16,81 y	y = -0,0639 + 0,785 x	x = 0,214 + 1,169 y
1° Cat.	y = 3,905 + 3,047 x	x = 4,36 + 0,22 y	y = 4,53 + 1,34 x	x = 4,5771 + 0,3731 y	y = 0,195 + 0,0241 x	x = 9,465 + 27,65 y	y = -0,493 + 1,015 x	x = 0,53 + 0,948 y
2° Cat.	y = 6,2643 + 2,29 x	x = 0,05 + 0,329 y	y = -3,595 + 1,751 x	x = 3,515 + 0,4435 y	y = -0,464 + 0,041 x	x = 14,74 + 19,16 y	y = -0,3674 + 0,8325 x	x = 0,711 + 1,038 y
3° Cat.	y = 14,225 + 1,559 x	x = -4,29 + 0,403 y	y = -0,11 + 1,268 x	x = 0,9089 + 0,6184 y	y = -0,416 + 0,0309 x	x = 16,9 + 16,07 y	y = -0,3126 + 0,8875 x	x = 0,421 + 1,075 y
total	y = 7,177 + 26,32 x	x = 0,8568 + 0,266 y	y = -0,96 + 1,615 x	x = 2,9368 + 0,452 y	y = -0,219 + 0,0311 x	x = 13,457 + 23,73 y		

LE MANS

VIMOUTIERS

RENNES

	Acidité fixe (x) Alcool acquis (y)	Glucose (x) (*) Lévulose (y)	Alcool en puissance (x) Sucres réducteurs (y) (**)
Population totale	y = 1,8438 + 1,24 x x = 0,5981 + 0,263 y	y = 11,484 + 2,692 x x = 1,25 + 0,2245 y	y = 1,88 + 16,04 x x = -0,115 + 0,06223 y
Le Mans totale	y = 1,5614 + 1,8119 x x = 0,5112 + 0,2855 y	y = 18,195 + 1,86 x x = -2,025 + 0,235 y	x = -0,114 + 0,0606 y
Vimoutiers totale		y = 21,24 + 2,184 x x = -6,76 + 0,3756 y	x = -0,06 + 0,0624 y
1° cat.	y = 1,1291 + 1,975 x x = -4,5729 + 0,161 y		
2° cat.	y = 1,84 + 1,054 x x = 0,161 + 0,3411 y		
3° cat.	y = 2,6561 + 1,138 x x = -0,5344 + 0,4823 y		
Totale	y = 1,9685 + 1,256 x x = 0,1234 + 0,3344 y	y = 7,33 + 2,82 x x = 0,1415 y	x = -0,0815 + 0,0604 y

RENNES

(*) Bien que dans l'ensemble la liaison n'est pas linéaire.

(**) En ne calculant pas les équations pour chaque classe, qui ne sont pas significativement distinctes.

On aura toujours $\eta_{y,x}$ significatif s'il est supérieur à 0,37.

Les calculs s'exécutant exactement de la même manière que ci-dessus, nous ne donnons que les résultats :

Valeur des rapports de corrélation entre le goût, y , et :

	$\eta_{x,y}$	$\eta_{y,x}$
glucose :	0,477	0,445
lévulose :	(0,115)	0,4875
saccharose :	(0,163)	(0,196)
alcool acquis :	0,332	(0,304)
acidité volatile :	0,400	0,354

Les valeurs non significatives trouvées, indiquées entre parenthèses, doivent être attribuées au fait que le rapport de corrélation est calculé pour l'ensemble des régions sans faire de distinction entre celles-ci.

CHAPITRE III

RECHERCHE DE LA QUALITE DES CIDRES D'APRES LEUR COMPOSITION CHIMIQUE

Le problème que nous abordons ici est, nous semble-t-il, le point capital de ce travail. Connaissant la composition chimique des cidres, peut-on en déduire la qualité ? ou, en d'autres termes, peut-on retrouver par l'analyse seule des cidres la même classification que le jury par la dégustation ?

C'est une question des plus importantes, étant données toutes les critiques que nous avons déjà énoncées au sujet de la valeur toute relative de la dégustation par un jury.

Mais cette importance tient aussi au fait que, si on arrive à ce résultat, comme l'on connaît d'autres part les facteurs qui influent sur la composition chimique et dont l'action a été précisée plus haut, on pourra les utiliser, à volonté et avec certitude, pour améliorer la qualité des cidres : cette industrie empirique deviendra donc scientifique.

Nous avons déjà signalé les difficultés qu'offrait ce problème et les échecs des auteurs précédents, en particulier de KAISER⁽²⁾. Il remarquait fort justement qu'on ne pouvait rattacher l'opinion du jury à aucune condition chimique bien précise. C'est encore ce qui ressort de nos résultats et ce pourquoi nous allons essayer de la ramener à un ensemble de conditions, dont le nombre devra, néanmoins, être aussi réduit que possible.

Nous avons dans la première partie de ce travail montré que les différences de qualité des cidres se traduisaient par des différences dans les teneurs en plusieurs éléments. C'est la raison pour laquelle il ne faut pas en retenir un seul pour essayer de résoudre la réciproque : déterminer la qualité à partir de la constitution chimique. Faudra-t-il pour cela retenir tous ceux dont la teneur varie avec la qualité ? Comme nous venons de le montrer, ce ne sera pas nécessaire, car ils ne sont pas tous indépendants.

Nous n'aurons donc pas besoin de faire intervenir, pour classer les cidres d'après leur composition chimique, des éléments comme : Acidité totale, densité, extrait sec, sucres réducteurs, totaux, etc... dont on tient déjà compte avec acidité volatile, glucose, lévulose, saccharose, alcool acquis...

D'ailleurs l'étude que nous avons faite au premier chapitre, met en évidence des variations, avec la qualité, des taux de certains éléments, mais ceci ne veut pas dire que le taux de ces éléments soit forcément la cause de la qualité: Il peut y avoir un rapport entre ces deux variables, mais sans que ce soit une relation de cause à effet. C'est ainsi par exemple, que nous avons signalé que si les teneurs en azote sont plus fortes parfois dans les mauvais cidres, celles en cendres plus faibles, ce n'est pas l'excès d'azote, ou le manque de cendres qui rendent un cidre mauvais. Il n'est donc pas nécessaire pour juger de la qualité d'un cidre de considérer les quantités qu'il contient d'azote ou de cendres, mais seulement des éléments qui sont la cause du goût.

Sachant quels sont les constituants qu'il faut considérer pour déterminer la qualité, comment devons-nous en tenir compte ? Tel est le deuxième point.

Il est difficile en effet, à première vue, de faire intervenir ensemble des éléments aussi dissemblables que l'acidité volatile, l'alcool acquis ou les sucres !

Mais nous pouvons remarquer que la composition de bons cidres est assez peu variable. Si l'on dose chaque élément, dans chaque échantillon, les valeurs trouvées x sont toutes voisines, et s'écartent assez peu de leur moyenne μ_x : La différence $x - \mu_x$ est faible. Cependant ces valeurs ne sont que des moyennes, et de bons cidres peuvent s'en écarter parfois considérablement; si un échantillon donné a tous ces caractères, il sera bon, mais s'il ne les a pas tous, il ne sera pas forcément mauvais. Il s'agit de voir s'il sera bon ou non.

Il est donc tout à fait normal d'admettre qu'un cidre sera d'autant moins bon qu'il s'écartera d'autant plus, ou pour d'autant plus d'éléments de cette moyenne μ_x . Nous sommes donc amenés à tenir compte, non plus du taux de chaque constituant, mais d'une part des écarts $x - \mu_x$ entre la valeur trouvée pour cet élément, et la moyenne exacte de cette valeur dans les bons cidres, et d'autre part de la somme de ces écarts $x - \mu_x$ pour tous les éléments qui interviennent dans la qualité : Un mauvais cidre, répétons le, ne se différenciant pas forcément des bons par une teneur anormale en un élément, mais par des écarts plus ou moins prononcés sur plusieurs constituants à la fois.

Malheureusement ces écarts $x - \mu_x$ ne sont pas comparables entre eux, donc pas additionnables. Ils sont en effet fonction du taux des éléments considérés dans le cidre; plus celui-ci est élevé, plus cette différence peut, elle-même, être forte.

Or qu'il soit élevé au minime, ces éléments peuvent avoir une égale importance sur le goût. On pourrait les rendre comparables en les

exprimant en pourcentage de l'élément considéré, soit $\frac{x - \mu_x}{\mu_x}$

Mais il est normal aussi d'admettre une dispersion plus grande des résultats analytiques pour les constituants dont le taux est élevé. Il faut donc attribuer moins d'importance aux écarts relatifs à ces constituants. Pour tenir compte de ce fait, on fera intervenir, non pas l'écart $(x - \mu_x)$, ni même un pourcentage.:

le rapport $\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$, $\frac{x - \mu_x}{\mu_x}$ étant l'écart type de la répartition de l'élément x dans la population totale. σ étant une caractéristique absolue de la dispersion, dont la valeur dépend justement de cette dispersion, mais aussi de la grandeur observée, et de l'unité de mesure, au même titre que $(x - \mu_x)$, tous ces rapports

$\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$ seront comparables quel que soit l'élément x envisagé,

et en les considérant, eux, on attribuera moins d'importance à un écart donné pour une substance susceptible de présenter normalement même pour les bons cidres, des écarts notables, que pour une substance dont la teneur est beaucoup plus constante dans les cidres.

Nature de l'élément analysé					
Cidres N°	x	y	z	t	:
1	x_1	y_1	z_1	t_1	
2	x_2	y_2	z_2	t_2	
°					
°					
°					
i	x_i	y_i	z_i	t_i	
°					
°					
°					
N	x_N	y_N	z_N	t_N	
Moyennes	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$	$\bar{t}$	
Ecarts types	σ_x	σ_y	σ_z	σ_t	

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=N} c (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

le signe $\sum_c$ indiquant que l'on somme, par colonne, le carré des écarts entre la valeur trouvée pour chaque échantillon ($x_1, y_1, z_1, \dots$) et la valeur moyenne pour l'ensemble de la population ($\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots$) avec :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} c x_i}{N}$$

Pour juger de la qualité d'un cidre, nous considérerons donc les rapports successifs :

$$\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$$

pour chaque élément et pour chaque cidre. Comme nous avons vu qu'il ne suffit pas d'envisager un seul élément pour juger un cidre, mais l'ensemble des constituants utiles, nous ferons la somme, pour chaque cidre, de ces rapports et considérerons alors :

$$S = \sum_L \frac{(x - \mu_x)}{\sigma_x}$$

le signe $\sum_L$ indiquant que l'on somme cette fois par ligne.

Ceci montre bien d'ailleurs que le goût résulte de la combinaison heureuse, de la réalisation de rapports harmonieux des divers constituants. Après l'avoir analysé comme nous l'avons fait jusqu'ici, il faut refaire la synthèse de ses divers éléments.

Naturellement ces écarts seront considérés en valeur absolue et non algébrique, car il peut être aussi néfaste pour la qualité qu'ils soient positifs ou négatifs, ou que ces différences soient positives pour un élément, négatives pour l'autre, et ce les faisant intervenir avec un signe, nous pourrions fort bien arriver, globalement, à les annuler les unes par rapport aux autres. Au contraire, la somme de leurs valeurs absolues, ou de leurs carrés, sera d'autant plus forte que le cidre examiné s'éloignera plus du témoin idéal, donc sera moins bon.

Nous ferons cependant une exception pour les sucres. Il ressort en effet clairement des résultats précédents, que plus un cidre est bon, plus il est riche en sucres. Si l'on trouve donc un écart $(x - \mu_x)$ positif pour les sucres, on ne peut pas l'imputer comme un défaut au cidre correspondant, mais on ne peut pas dire

non plus que cet excès de sucre est suffisant à compenser d'autres défauts, ni même qu'il puisse y contribuer en quoi que ce soit; on se contentera donc de ne pas en tenir compte, et l'on ne prendra en considération, en valeur absolue, que les écarts $(x - \mu_x)$ négatifs, s'ils sont positifs ou nuls, on mettra simplement la valeur zéro.

Nous remarquerons d'autre part que la formule que nous employons pour définir la qualité du cidre est une fonction linéaire de leurs écarts de composition par rapport aux bons cidres. Il nous sera donc impossible d'y faire entrer les éléments dont les teneurs ne varient pas linéairement avec la qualité, même si elles diffèrent significativement suivant cette qualité, nous avons vu ainsi tout à l'heure que les très bons cidres de Vimoutiers sont les plus riches en saccharose, mais les mauvais, quoique moins riches que ceux-ci, le sont cependant plus que ceux de seconde catégorie; nous ne pourrions donc faire intervenir le saccharose dans notre formule. Cette remarque réduit donc encore le nombre des éléments à considérer.

C'est ainsi que finalement, nous nous baserons pour déterminer la qualité des cidres :

- a) de Vimoutiers : sur leur teneur en acides volatils, alcool acquis, glucose, lévulose,
- b) de Rennes : en acides volatils, glucose, lévulose, saccharose, tanins,
- c) du Mans : en acides volatils, alcool acquis, glucose, lévulose, saccharose.

N.B. Pour l'alcool acquis, les tanins, le saccharose, on n'observe pas de différence vraiment significative entre les moyennes des différentes qualités, mais il semble néanmoins que leur taux soit fonction de la qualité.

La formule à laquelle nous avons abouti maintenant pour déterminer la qualité d'un cidre :

$$Q = \sum \frac{(x - \mu_x)^2}{\sigma_x^2}$$

attribue la même importance à tous les éléments considérés quels qu'ils soient. Or manifestement, ils n'influent pas au même degré sur le goût et il faut les affecter de certains coefficients, et l'on aura :

$$Q = a \frac{(x - \mu_x)^2}{\sigma_x^2} + b \frac{(y - \mu_y)^2}{\sigma_y^2} + \dots$$

Comment calculer ces coefficients ?

Théoriquement, ce seraient les coefficients de corrélation partielle de la qualité en fonction des différents éléments considérés. Mais pour les calculer, il faudrait pouvoir exprimer la qualité quantitativement. La juxtaposition de ces deux mots suffit à montrer la difficulté de ce calcul. Les rapports de corrélation que nous avons calculé au chapitre précédent ne peuvent pas les représenter, car d'une part ils ne distinguent pas les différentes régions, d'autre part ils expriment la totalité de la liaison entre le goût et l'élément correspondant, sans faire entrer en jeu les autres facteurs intéressants qui peuvent les modifier.

Il faut donc avoir recours à un artifice pour déterminer quand même ces coefficients. Pour cela, nous considérons le tableau des rapports ξ , η , ζ tels que :

$$\xi = \frac{(x - \mu_x)^2}{\sigma_x^2}$$

pour tous les éléments $x, y, z, \dots$ d'une population donnée de cidres, ceux-ci étant rangés par qualité.

	Nature de l'élément analysé								
	x	y	z...	x	y	z...	x	y	z...
Cidres N°	1° qualité			2° qualité			3° qualité		
1	ξ_{11}	η_{11}	$\zeta_{11..}$	ξ_{21}	η_{21}	$\zeta_{21..}$	ξ_{31}	η_{31}	$\zeta_{31..}$
2	ξ_{12}	η_{12}	$\zeta_{12..}$	ξ_{22}	η_{22}	$\zeta_{22..}$	ξ_{32}	η_{32}	$\zeta_{32..}$
°									
°									
i	ξ_{1i}	η_{1i}	$\zeta_{1i..}$	ξ_{2i}	η_{2i}	$\zeta_{2i..}$	ξ_{3i}	η_{3i}	$\zeta_{3i..}$
N	ξ_{1N}	η_{1N}	$\zeta_{1N..}$	ξ_{2N}	η_{2N}	$\zeta_{2N..}$	ξ_{3N}	η_{3N}	$\zeta_{3N..}$
Total	ξ_1	η_1	ζ_1	ξ_2	η_2	ζ_2	ξ_3	η_3	ζ_3
Moyenne	$\bar{\xi}_1$	$\bar{\eta}_1$	$\bar{\zeta}_1$	$\bar{\xi}_2$	$\bar{\eta}_2$	$\bar{\zeta}_2$	$\bar{\xi}_3$	$\bar{\eta}_3$	$\bar{\zeta}_3$

Nous faisons les totaux de chaque colonne $\sum \xi, \sum \eta, \sum z$
et les moyennes telles que : $\bar{\xi}_1 = \frac{\sum \xi_{1i}}{N}$

ainsi que les moyennes générales par qualité, pour tous les éléments

$$v_1 = \frac{\sum \xi_1 + \sum \eta_1 + \sum z_1 + \dots}{n}$$

$$v_2 = \frac{\sum \xi_2 + \sum \eta_2 + \sum z_2 + \dots}{n'}$$

$$v_3 = \frac{\sum \xi_3 + \sum \eta_3 + \sum z_3 + \dots}{n''}$$

n, n', n'' étant le nombre total d'échantillons en première, deuxième et troisième catégorie.

On conçoit aisément que les rapports $\frac{\bar{\xi}_3}{\bar{\xi}_2}, \frac{\bar{\xi}_2}{\bar{\xi}_1}$ sont proportionnels à l'importance de ces éléments sur le goût du cidre.

D'autre part, l'on cherchera dans notre classification, pour lui donner plus de netteté, à placer les cidres de deuxième catégorie exactement au centre de l'intervalle moyen séparant ceux de première et de troisième, ce qui nous conduira finalement à prendre pour valeurs des coefficients $a, b, c, \dots$

$$a = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{\bar{\xi}_2}{\bar{\xi}_1} + \frac{v_2}{v_3} \times \frac{\bar{\xi}_3}{\bar{\xi}_2} \quad b = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{\bar{\eta}_2}{\bar{\eta}_1} + \frac{v_2}{v_3} \times \frac{\bar{\eta}_3}{\bar{\eta}_2}$$

$$c = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{\bar{z}_2}{\bar{z}_1} + \frac{v_2}{v_3} \times \frac{\bar{z}_3}{\bar{z}_2} \quad \dots\dots\dots$$

c'est-à-dire que l'on réduit les rapports $\frac{\bar{\xi}_2}{\bar{\xi}_1}, \frac{\bar{\xi}_3}{\bar{\xi}_2}$ pour chaque élément proportionnellement à l'écart moyen qui sépare dans l'ensemble la première de la deuxième catégorie, et la deuxième de la troisième.

Les calculs à effectuer étant les mêmes pour chaque région, nous ne les effectuerons à titre d'exemple que pour une seule par exemple Le Mans, et ne donnerons comme nous l'avons déjà fait précédemment que les résultats pour les autres régions.

Les résultats analytiques ont été donnés plus haut, nous avons d'autre part, en appelant :

- x l'acidité volatile
- y l'alcool acquis
- z le glucose
- t le lévulose
- u le saccharose

$$\mu_x = 0,75$$

$$\mu_y = 2,95$$

$$\mu_z = 13,64$$

$$\mu_t = 49,10$$

$$\sigma_x^2 = 0,2725$$

$$\sigma_y^2 = 3,4689$$

$$\sigma_z^2 = 38,1841$$

$$\sigma_t^2 = 299,3459$$

$$\mu_u = 1,18$$

$$\sigma_u^2 = 0,3534$$

d'où le tableau des ξ , η , z , θ , U .

Elément		ξ	η	z	θ	U
1 ^o catégorie.		0,094	0,472	0,275	-	0,238
		0,353	0,657		-	-
		0,811	2,228	1,593	0,069	0,308
	total	1,258	3,357	1,868	0,069	0,546
	moyenne	0,419	1,119	0,623	0,023	0,182
2 ^o catégorie		3,106	0,657	4,066	1,470	3,940
		0,023	1,008	3,678	2,750	3,940
		0,679	0,436	2,429	0,482	3,940
		0,013	5,838	4,844	1,673	2,718
		0,476	8,912	4,440	3,759	1,426
		0,001	1,590	1,618	0,448	-
		0,811	0,923	3,368	0,048	3,940
	total	5,109	19,364	24,443	10,630	19,904
	moyenne	0,730	2,766	3,492	1,519	2,845
3 ^o catégorie		3,597	2,560	3,878	3,169	3,940
		0,450	2,391	4,766	6,145	1,387
		0,023	0,277	4,686	6,547	3,940
		1,647	3,715	4,872	7,636	3,362
		0,476	1,688	4,460	2,608	3,940
		7,296	4,430	3,140	5,834	3,940
	total	13,489	15,061	25,804	31,739	20,509
	moyenne	2,248	2,512	4,301	5,290	3,418

et le tableau des $\sum \xi_i, \sum \eta_i, \sum z_i, \sum \theta_i, \sum U_i$, permettant calculer les ν_1, ν_2, ν_3 .

	$\Sigma \xi_i$	$\Sigma \eta_i$	$\Sigma \tau_i$	$\Sigma \theta_i$	$\Sigma \upsilon_i$	total	moyenne
1 ^o catégorie	1,258	3,367	1,368	0,069	0,546	7,098	0,4732
2 ^o catégorie	5,109	19,364	24,443	10,630	19,904	79,450	2,2700
3 ^o catégorie	13,489	15,061	25,804	31,739	20,509	106,602	3,5534

$$\frac{y_1}{y_2} = 0,2084$$

$$\frac{y_2}{y_3} = 0,6385$$

$$\text{d'où : } a = 0,2084 \frac{0,730}{0,419} + 0,6385 \frac{2,248}{0,730} = 2,329$$

$$b = 0,2084 \frac{2,766}{1,119} + 0,6385 \frac{2,512}{2,766} = 1,095$$

$$c = 0,2084 \frac{3,492}{0,623} + 0,6385 \frac{4,301}{3,492} = 1,956$$

$$d = 0,2084 \frac{1,519}{0,023} + 0,6385 \frac{5,290}{1,519} = 15,990$$

$$e = 0,2084 \frac{2,843}{0,182} + 0,6385 \frac{3,418}{2,843} = 4,025$$

d'où les tableaux de classement (nous indiquons en même temps ceux de Vimoutiers et Rennes) : Dans ces tableaux les cidres sont rangés dans l'ordre déterminé par la dégustation, la séparation en catégorie, étant celle qui résulte de cette dernière. Nous indiquons le numéro des cidres et la valeur, pour chacun, de l'expression caractéristique Q de leur qualité, telle que nous l'avons définie plus haut. Ce terme a une valeur d'autant plus élevée que les cidres sont moins bons. Nous marquons les exceptions (cidres qui seraient d'après nos résultats dans une autre catégorie que celle déterminée par le jury) en les mettant entre parenthèses si nos résultats placent les échantillons dans une catégorie inférieure à celle trouvée par le jury, en les faisant suivre d'une croix s'ils les placent dans une catégorie supérieure.

	Le Mans		Vimoutiers		Rennes	
	N°	Q	N°	Q	N°	Q
1 ^o catégorie	3 7 8	2,232 1,542 9,790	2 3 23 24	2,691 1,413 6,210 5,002	1 30 35 27 29 37 20 33 16 18 9 28 25 5	7,284 0,462 0,096 3,316 4,486 8,484 6,298 2,340 3,839 2,219 5,761 (9,262) 3,372 4,079
2 ^o catégorie	2 6 9 10 13 14 15	55,250 68,145 30,362 53,374 (85,284) 12,065 26,106	28 29 108 30 106	74,265 75,782 60,455 29,106 26,093	17 26 6 19 24 7 3 38 36 15 31 21 34 23 39	12,590 13,982 8,555 9,747 9,582 8,820 2,236 + 14,172 9,184 8,850 13,804 15,428 1,714 + 11,427 15,797
3 ^o catégorie	1 16 12 4 5 11	85,252 137,013 69,231 116,676 125,498 152,975	105 1 45 110 34 16	84,351 64,998 + 48,712 + 108,480 108,822 43,731 +	10 4 41 8 32 2 22 40 42	11,487 + 6,740 + + 13,743 + 25,587 52,515 18,612 21,499 17,829 39,367

+ + Ce cidre se plaçant en première catégorie, comptera pour deux exceptions.

Ces résultats, encore une fois, seront plus expressifs, si on les traduit par des graphiques. Portons donc en ordonnée, la valeur trouvée de Q, que nous venons de déterminer; en abscisse le numéro des cidres, ceux-ci étant rangés par catégorie, mais à l'intérieur de chacune, dans l'ordre qui résulte des tableaux précédents. Nous obtenons de cette manière des diagrammes en échelle, où chaque exception est marquée par un hiatus entre les catégories.

Nous voyons ainsi que les limites des catégories doivent être :

pour Vimoutiers de	0 à 10	de 10	à 80	et au dessus de	80
Rennes	0 à 8,5	de 8,5	à 16	"	16
Le Mans	0 à 10	de 10	à 69	"	69

Il y a donc dans le Pays d'Auge trois cidres de troisième catégorie qui se classent en deuxième, tous les autres étant correctement placés.

Pour l'Ille et Vilaine, un cidre que le jury a trouvé très bon se range avec les bons seulement; deux bons avec les premiers, ainsi qu'un mauvais, qui comptera donc pour deux exceptions. Deux autres mauvais se classent avec les bons; soit en tout sept exceptions.

Pour la Sarthe, une seule exception : un cidre de deuxième catégorie se plaçant en troisième.

Au total, nous avons donc 11 exceptions, sur 69 cidres, soit 15,94% ou 84,06% de concordance avec le classement obtenu par le jury.

Nous pouvons donc nous estimer très satisfaits, d'autant plus que la dégustation n'est pas parfaite, et que les différences observées doivent être imputées aussi bien aux erreurs de notre méthode qu'à celles propres à la dégustation.

Ainsi à Vimoutiers, les membres du jury dégustent deux par deux, et il y a trois jurys distincts : un pour les cidres en bouteilles, deux pour les cidres en fûts. De plus, on ne les a reçus au laboratoire qu'un mois après le concours et l'aspect des échantillons a en général changé : Dans plusieurs, des troubles, ou même des dépôts, parfois abondants, se sont produits. Il faut reconnaître cependant que le goût a beaucoup moins évolué.

Toutefois, l'échantillon n° 16 qui avait obtenu la note 17 le jour du concours, donc se rangeait avec les très bons, a acquis un goût franchement désagréable, à l'avis unanime de toutes les personnes qui ont pu alors le déguster. Nous l'avons donc déclassé en troisième catégorie. Nos résultats le placent en seconde seulement,

c'est donc une exception, à laquelle on ne peut pas trop attacher d'importance. D'ailleurs notre méthode sous entend que tous les éléments dont il n'est pas tenu compte sont quand même compris entre des limites "normales"; or dans ce cas cet échantillon a une acidité fixe très faible : 0,95 g/l, très inférieure à celle de tous les autres, ce qui suffirait à justifier son mauvais classement.

La même remarque s'adresserait aux cidres de Rennes : Là encore deux jurys se sont réparti le travail à la dégustation : ont-ils jugé exactement de la même façon pour que l'on puisse comparer les résultats comme nous le faisons de l'un et de l'autre. De plus chaque jury était composé de nombreux membres et les indications qu'ils ont fournies furent parfois l'objet de discussions soutenues.

Ainsi on hésita beaucoup à mettre 13 ou 14 à l'échantillon N°28, or nous limitons les cidres de première catégorie à la note 14, et cet échantillon aurait pu tomber en deuxième catégorie : encore une exception qui n'est pas très significative. Mais ce qui est plus grave et montre d'une manière éclatante la faible valeur de la dégustation, même par des experts, c'est qu'on hésita pour les échantillons N° 10, 4 et 41 entre de très mauvaises notes et de bonnes. S'ils ont eu finalement la note 7 qui les classent en troisième catégorie, on avait proposé aussi respectivement 15, 13 et 14, notes qui les auraient mis en première, deuxième et première catégorie; encore 4 exceptions (celle du N° 4 comptant double) qui n'ont pas grande valeur.

Les exceptions dues aux échantillons N°3 et 34 sont plus réelles.

Enfin, au sujet de ces cidres d'Ille et Vilaine, il faut aussi noter qu'au cours du transport, ils ont travaillé et que certains bouchons ont sauté.

L'exception présentée par l'échantillon N°13 du Mans est plus grave. Elle est due en effet à un fort excès d'alcool acquis et à un manque important de sucre. Or malgré cela, ce cidre est bon. Alors que d'habitude ces cidres secs sont jugés mauvais, par le dégustateur, et que notre classification les classe aussi en troisième catégorie. Celui-ci a été trouvé bon par le jury, mais naturellement se classe aussi en troisième catégorie d'après sa composition. Il constitue donc une exception très nette dans notre théorie et inexplicable. Mais à part cela, la classification que nous obtenons pour les cidres de ce cru est excellente; à part lui, aucune autre exception dans la classification en trois catégories; et même, si nous rangeons les cidres un à un, suivant l'ordre de mérite qui leurs est attribué d'une part par le jury, d'autre part par notre méthode, nous obtenons deux séries très voisines l'une de l'autre, à tel

point que si nous calculons le coefficient de corrélation des rangs de ces deux séries, nous trouvons une valeur voisine de 1 et fortement significative, comme le montrent les calculs ci-après.

ordre de mérite d' après la	dégus- tation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	compo- sition	2	1	3	8	9	6	7	12	4	5	11	15	10	13	14	16
différence d		1	1	0	4	4	0	0	4	5	5	0	3	3	1	1	0
d ²		1	1	0	16	16	0	0	16	25	25	0	9	9	1	1	0

Le coefficient de corrélation des rangs r est donné par la formule :

$$r = 1 - \frac{6 \sum d^2}{N(N^2 - 1)}$$

or ici $\sum d^2 = 120$, $N = 16$, donc $r = 1 - \frac{6 \times 120}{16 \times 17 \times 15} = 0,824$

En admettant alors que les cidres sont distribués normalement dans ces deux classifications, le coefficient de corrélation entre les notes des cidres elles-mêmes (notes du jury et de l'analyse) sera :

$$R = 2 \sin \frac{\pi}{6} r$$

ce qui donne ici :

$$R = 2 \sin \frac{\pi}{6} \times 0,824 = 0,836$$

Si l'on veut tester si R est significativement de zéro, on utilise la méthode de transformation de FISHER, en remplaçant R par

$$Z = \text{Arg th } R = 0,5 \log \frac{1 + R}{1 - R}$$

On trouve ici : $Z = 1,208$

Il suffit alors de comparer Z à son écart type $\sigma_Z = \frac{1}{\sqrt{N - 3}}$

$$\frac{Z}{\sigma_Z} = 1,208 \times \sqrt{13} = 4,35$$

La probabilité pour que cette valeur ne soit due qu'au hasard est

$1,1 \times 10^{-5}$. La valeur trouvée de R est donc tout à fait significative.

Pour Vimoutiers, le coefficient de corrélation des rangs entre les deux classifications, s'il est toujours significatif, est moins élevé. Par des calculs analogues, on trouve en effet :

$$\Sigma d^2 = 192, N = 15 \text{ d'où } r = 0,657 \text{ et } R = 0,675$$

En testant si cette valeur est significativement différente de zéro, on aura :

$$z = 0,820 \quad \sigma_z = \sqrt{\frac{1}{12}} \quad \text{et} \quad \frac{z}{\sigma_z} = 2,84. \text{ Il n'y a}$$

environ que 0,0062 % de chances que cette valeur soit due au hasard.

Pour Rennes, $\Sigma d^2 = 2367$, $N = 38$, d'où $r = 0,74$ et $R = 0,756$

$z = 0,987$, $\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{35}}$, $\frac{z}{\sigma_z} = 5,84$, valeur à laquelle correspond une probabilité d'environ $7,1 \times 10^{-9}$. Ici encore les valeurs trouvées de r et de R sont donc tout à fait significatives.

Voici exposé le principe de notre méthode, et nous l'avons justifié par 3 exemples : Elle permet de ranger les cidres en 3 classes, et il ne faut pas en espérer davantage, puisque nous ne pouvons considérer que les éléments les plus importants, sinon la valeur, au moins par la quantité.

Un jour peut-être, quand nous aurons dosé dans les cidres plus de constituants, de microéléments même, et avec plus de précision, nous pourrions pousser cette analyse de la qualité plus loin et augmenter ainsi le nombre des classes, et je ne crois pas trop osé de dire qu'il sera même alors possible de donner à chaque cidre un numéro d'ordre qui corresponde à celui de la dégustation : nous avons vu déjà que nous n'en sommes pas si éloignés, malgré notre manière grossière d'opérer.

Mais il n'est pas inutile d'insister sur un fait. Cette méthode ne permet de comparer entre eux et de classer que des cidres d'une même région. En particulier, les constantes σ et μ ne sont valables que pour une population homogène donnée, elles devront être calculées pour chaque région. Nous avons vu que leur détermination était basée sur une première dégustation. Le besoin de celle-ci subsiste, on ne peut l'éliminer entièrement, mais comme il n'y en a besoin que d'une seule, elle peut être particulièrement soignée. Il faut encore remarquer que ces dégustations doivent être pratiquées par des jurys sélectionnés, appartenant à la région considérée, car le même dégustateur, ne pourrait correctement apprécier des cidres de crus différents.

CONCLUSION.

Nous avons au cours de ce travail montré que la composition des cidres, assez complexe, est très variable en fonction de nombreux facteurs.

Cette variabilité gêne pour rechercher l'influence exacte de chacun, distinguer les crus, déterminer la qualité. C'est principalement pour cela, en dehors de son caractère subjectif, que la dégustation ne permettra pas d'arriver à des conclusions nettes, et qu'il faut recourir à l'étude de la composition chimique des cidres pour résoudre ces problèmes. Mais encore ainsi ils restent difficiles; et les travaux existants n'ont pu qu'enregistrer des faits sans les relier et sans en tirer de conclusions.

L'emploi des méthodes statistiques a fait faire un grand pas en permettant de voir sur quels éléments particuliers agissent diverses causes de variation et de préciser la nature de ces variations. Elles ont encore permis, ce qu'on n'avait jamais encore pu faire jusqu'ici : déterminer la qualité d'un cidre en considérant uniquement sa composition chimique.

Nous avons profité de cette étude pour rechercher, en passant l'existence d'une corrélation entre différents éléments du cidre, et quand elle existait, calculer les coefficients de corrélation correspondants.

En poursuivant dans cette voie, et connaissant la composition chimique du cidre qui plaira à une catégorie donnée de consommateurs, on pourra même, un jour, savoir exactement quelles pommes employer, avec quelles levures opérer la fermentation, et suivant quelles techniques fabriquer cette boisson, pour obtenir toujours le produit le mieux adapté aux goûts divers de la clientèle. C'est la partie la plus difficile du problème, qui exige une connaissance parfaite de tous ces facteurs, et qui sera très longue, étant donné le nombre considérable de variétés de pommes existantes et mal connues, ainsi que celui non moins important des levures pouvant avoir un rôle utile dans la fermentation; d'autant plus qu'industriellement, il faudra vraisemblablement combiner l'action de plusieurs espèces différentes; et elles n'agiront plus de la même manière, réunies, que séparées, or les combinaisons réalisables sont pratiquement infinies.

Nous avons montré, en traitant trois exemples avec trois variétés de pommes et trois espèces de levures, que les méthodes que nous avons employées permettront de résoudre ces problèmes.

Les critiques de WARCOLLIER tomberont alors qui écrivait :
"Afin de tirer tout le parti possible des analyses de moût, certains auteurs ont cru devoir établir la formule chimique type d'un moût normal. Nous n'avons jamais accepté de pareilles bases de sélection d'ailleurs inapplicables en pratique. On fabrique suivant les pays des cidres très différents les uns des autres, obtenus avec des jus présentant des taux variés d'acide malique, tanins, matières pectiques et très variables comme couleur, saveur, fruité, etc... et tous ces cidres sont recherchés par des catégories diverses de consommateurs".

"Il ne peut même être question pour chaque type de cidre défini de fixer la composition "ne varietur" du moût correspondant, car il faut bien avouer que l'analyse chimique ne peut nous donner, à elle seule que des renseignements incomplets".

"La valeur du cidre ne dépend pas en effet exclusivement de la composition chimique du moût, mais également de sa composition physiologique, de la nature et de la quantité de diastases présentes. Par exemple, un jus riche en pectase se défequera facilement, de même, suivant la quantité d'oxydase présente, le tanin sera plus ou moins insolubilisé sur la pulpe pendant le pressurage, d'où production de cidres plus ou moins colorés et plus ou moins tanniques, amers, en partant de moût de même richesse primitive en tanins".

Ces critiques n'auraient plus d'objet, puisqu'on tiendrait précisément compte, non seulement du moût ou du cidre, mais de tous ces facteurs dans l'établissement des formules chimiques types des meilleurs moûts.

Les résultats obtenus sont la meilleure justification des méthodes que nous avons utilisées; et pour terminer, nous formulons simplement l'espoir qu'ils constituent un encouragement à poursuivre dans cette voie.

GRAPHIQUES

GRAPHIQUE N° I

Résultats analytiques

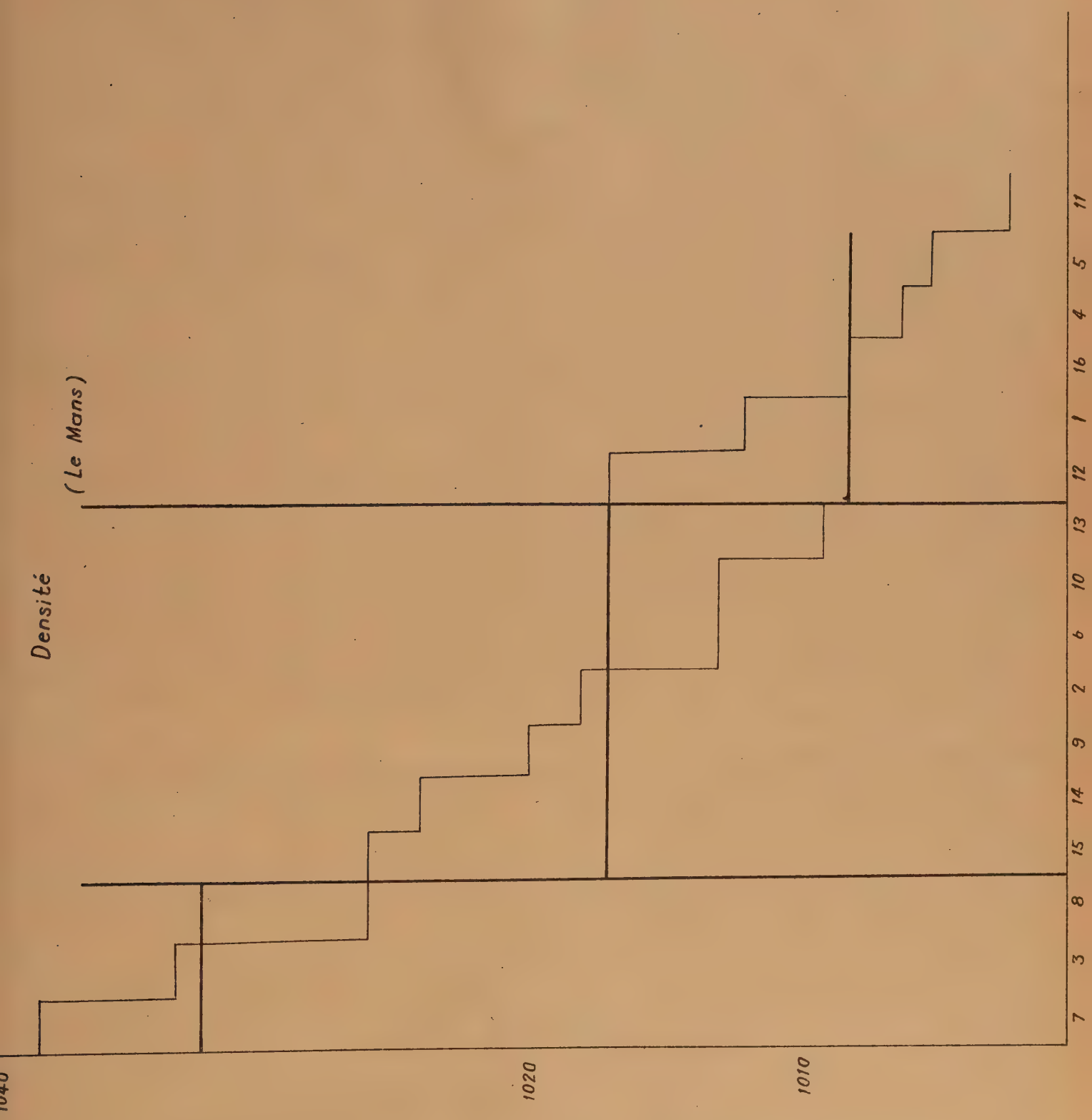
1°) Nous indiquons dans les premiers graphiques les résultats analytiques fournis par nos échantillons de cidres des différents crus et différentes qualités (Cf. p. 22 à 27) en portant en abscisse le numéro de l'échantillon, en ordonnée l'importance de l'élément dans le cidre, en grammes par litre, sauf pour l'azote, exprimé en milligrammes par litre, et l'alcool en degrés.

Nous avons distingué, en les séparant par des traits verticaux les trois catégories de cidres, mais à l'intérieur de chacune les échantillons sont répartis suivant les valeurs croissantes ou décroissantes (Cf. p. 21) des résultats analytiques.

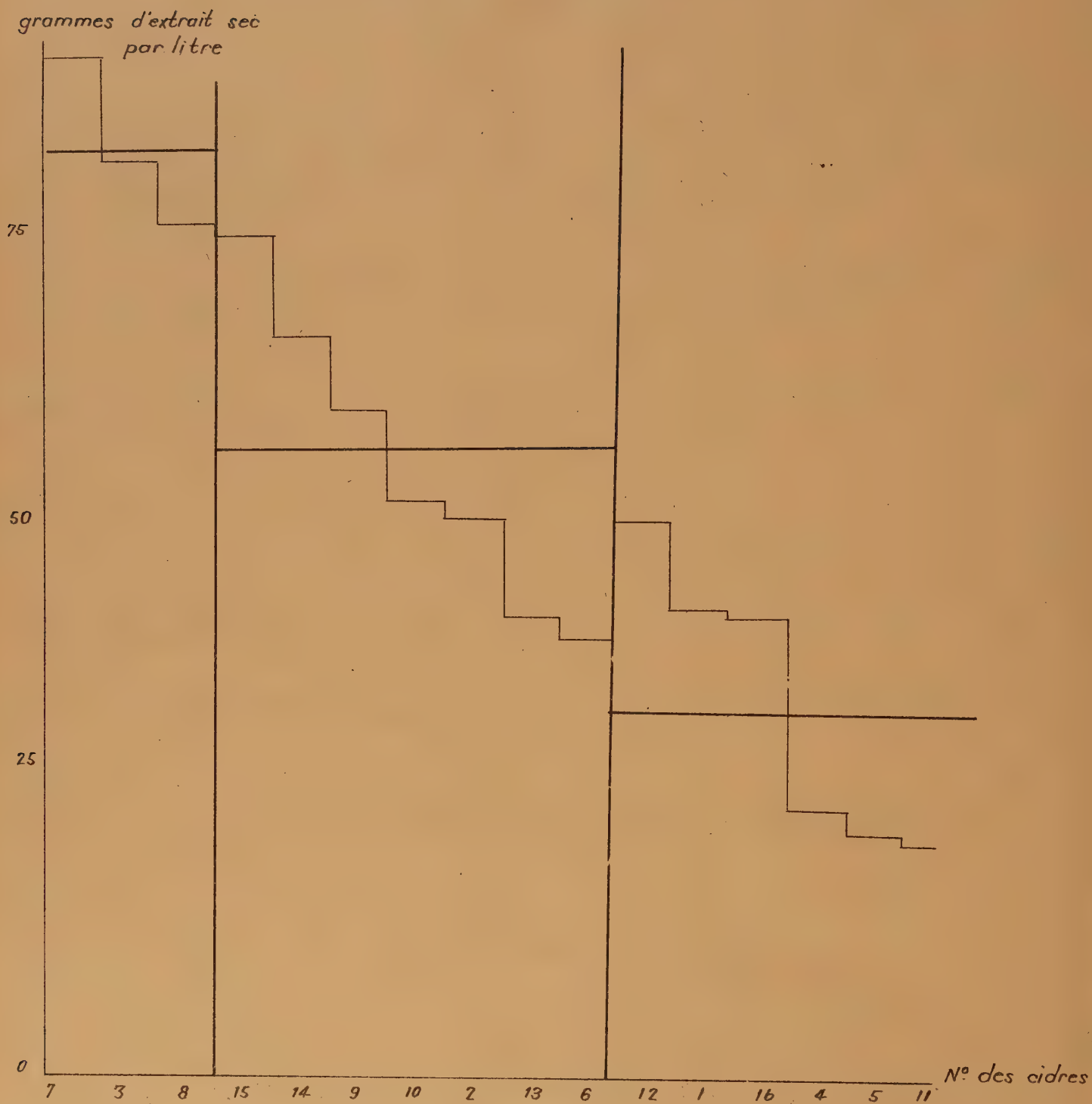
Nous indiquons par un trait horizontal la valeur moyenne de l'élément considéré pour chaque catégorie de cidres.

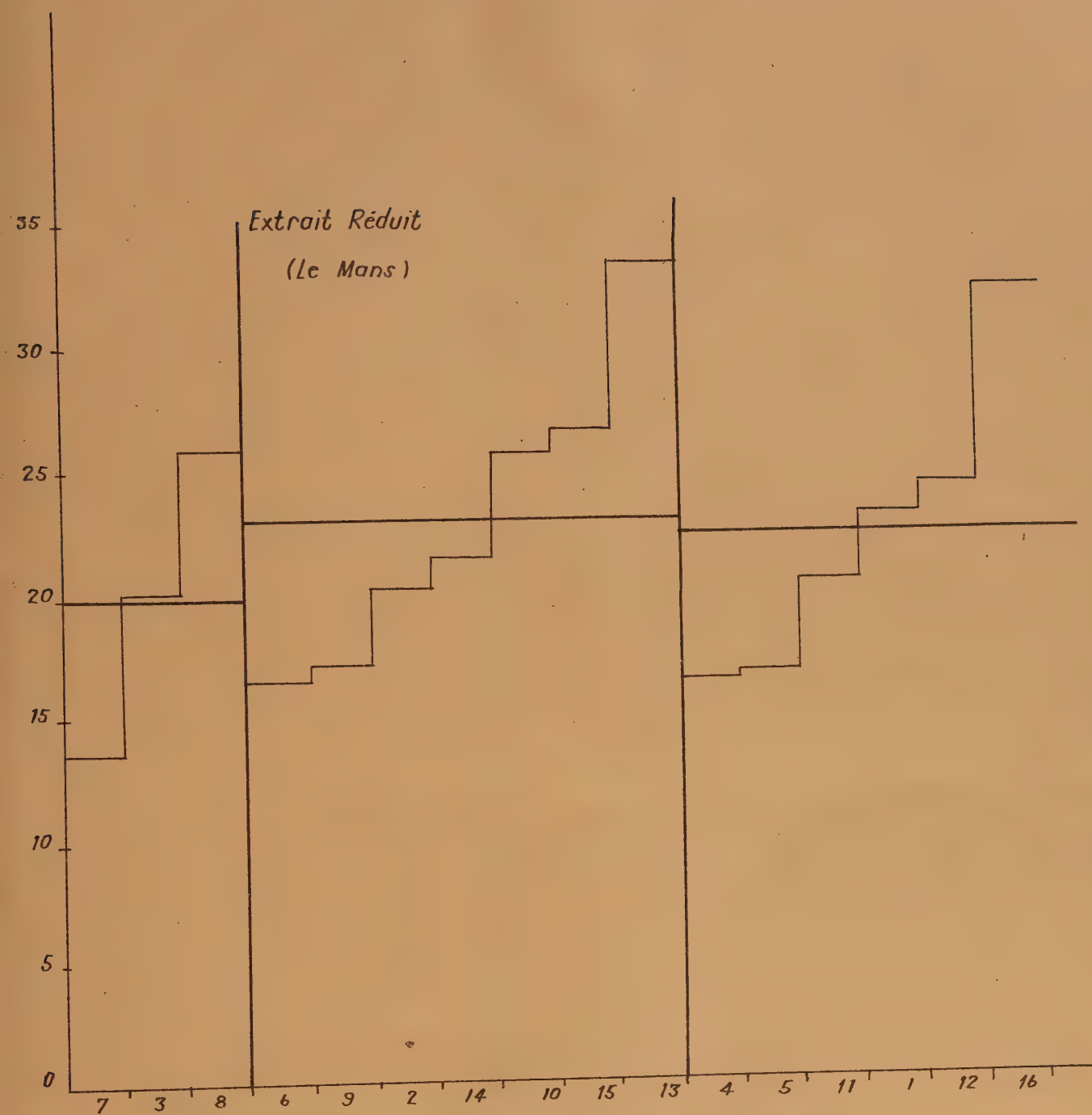
2°) Les graphiques suivants ne sont autres que les diagrammes de fréquence relatifs aux mêmes échantillons. Là encore, nous distinguons les trois catégories qualitatives de cidres, en représentant en hachuré continu les très bons, hachuré pointillé les bons, et hachuré mixte les mauvais cidres. Les résultats obtenus à l'analyse, groupés en classes, sont portés en abscisse (nous indiquons les limites de ces classes). Le nombre de cidres dans chacune est en ordonnée.

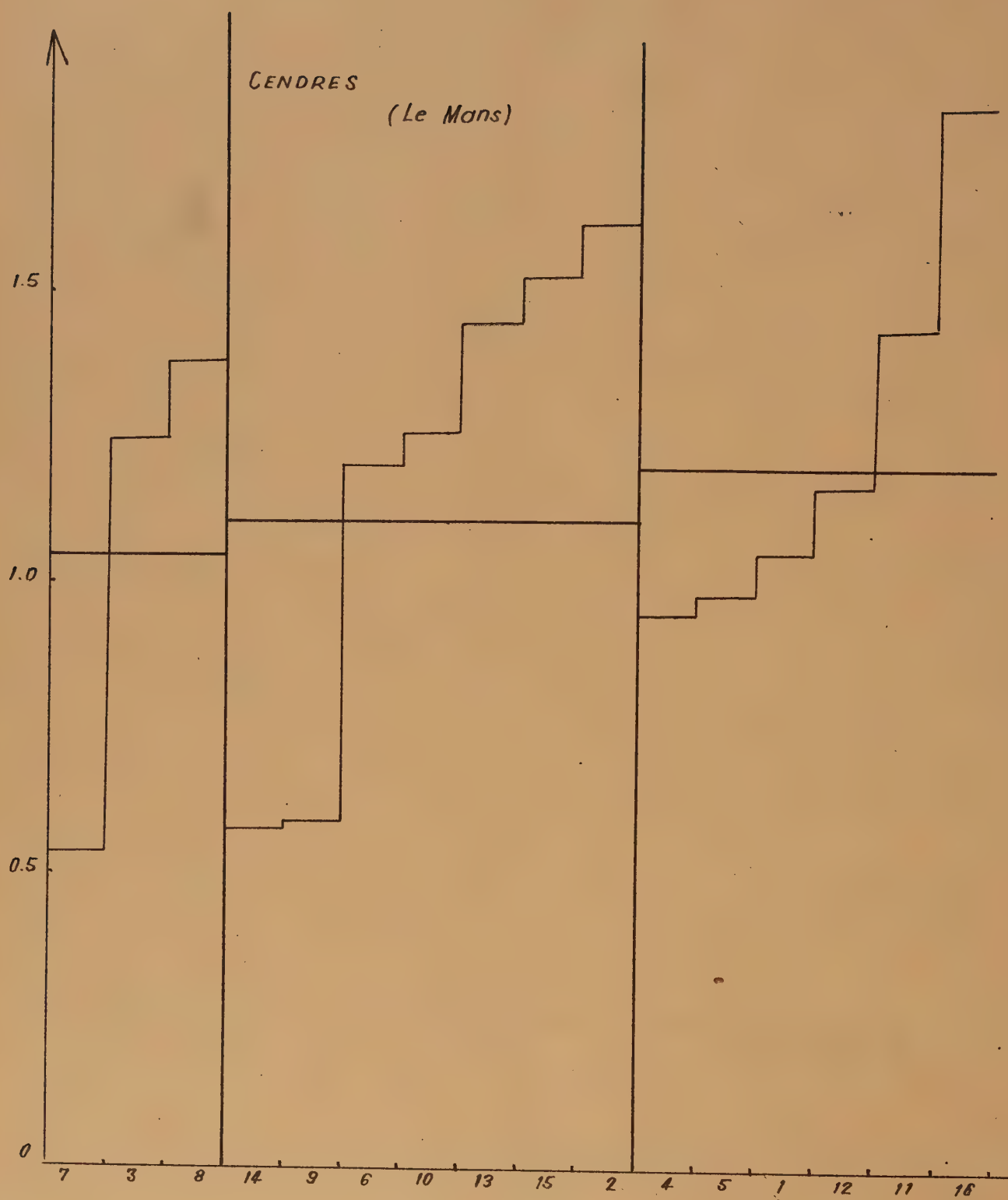
Voir p. 21 pour le choix des échelles, du nombre des classes et de leurs limites.

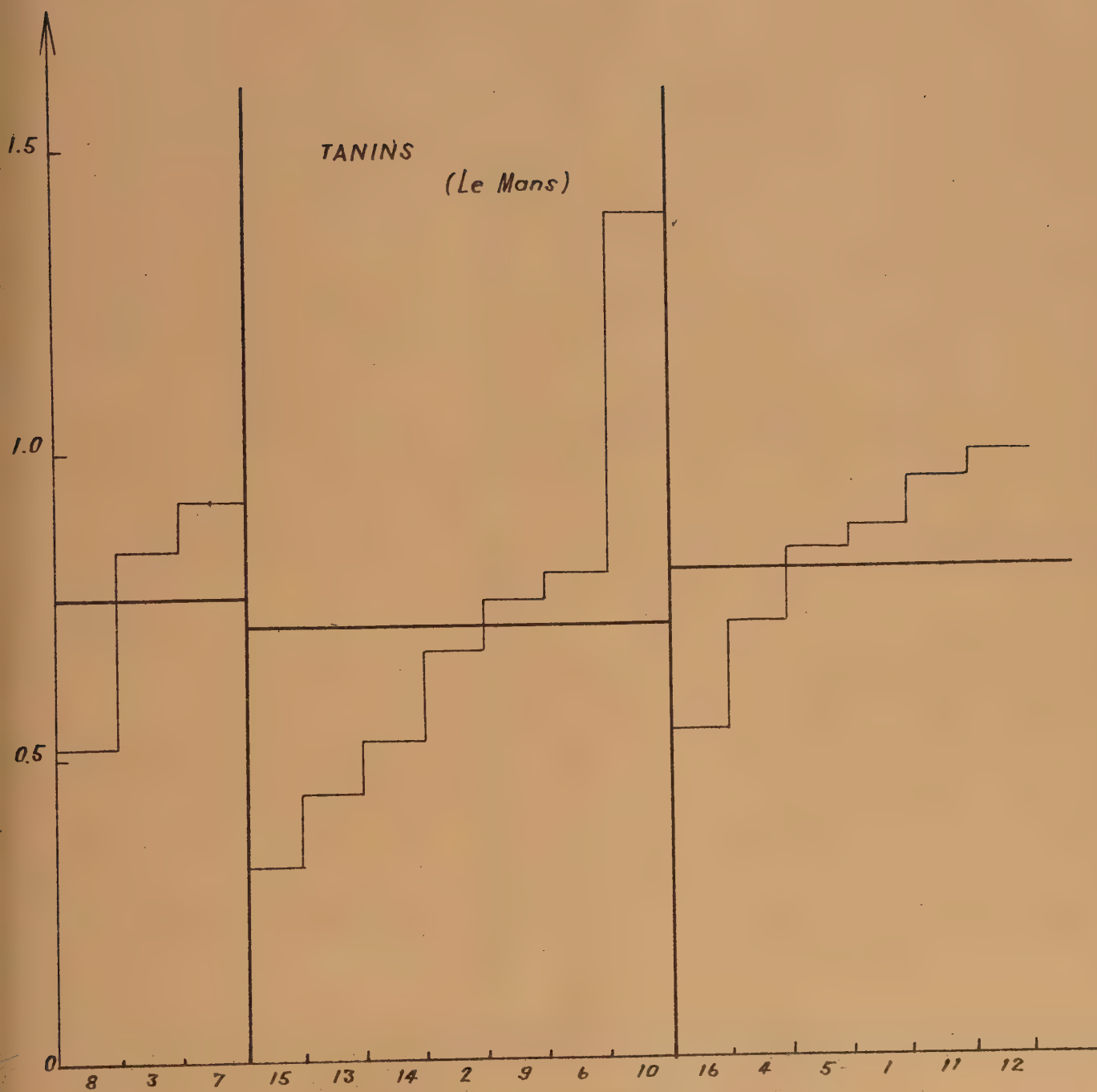


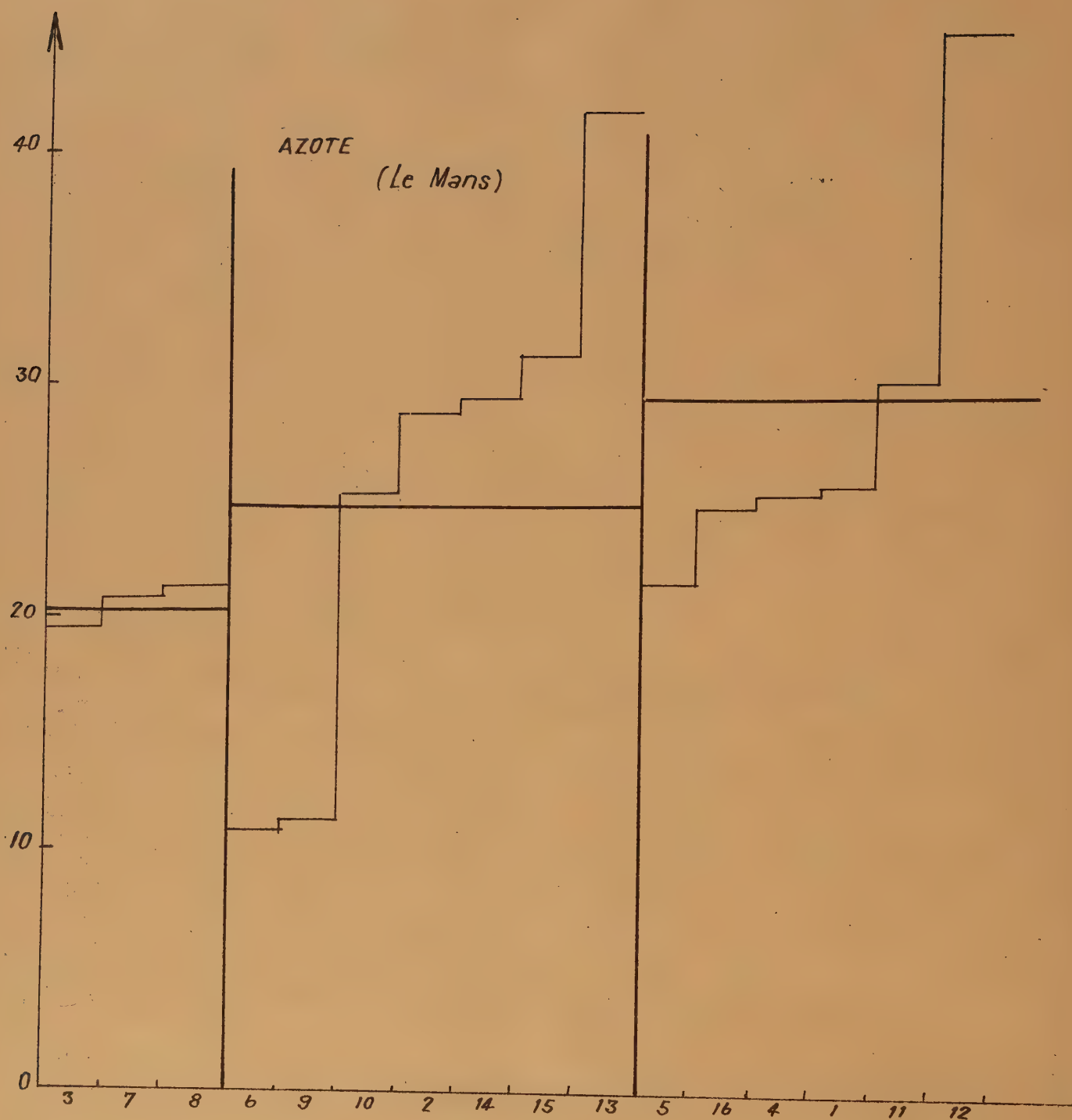
EXTRAIT SEC (Le Mans)

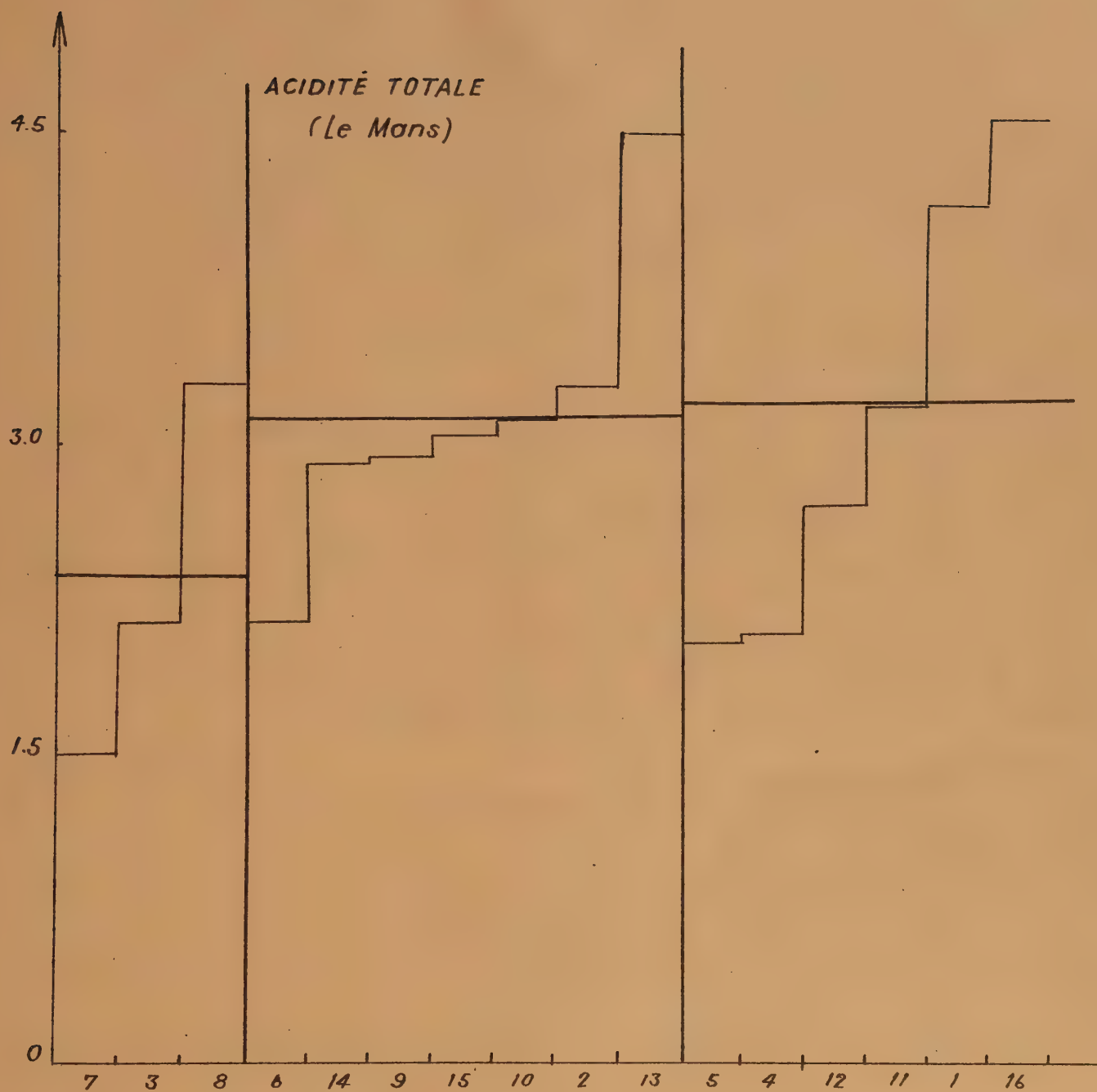


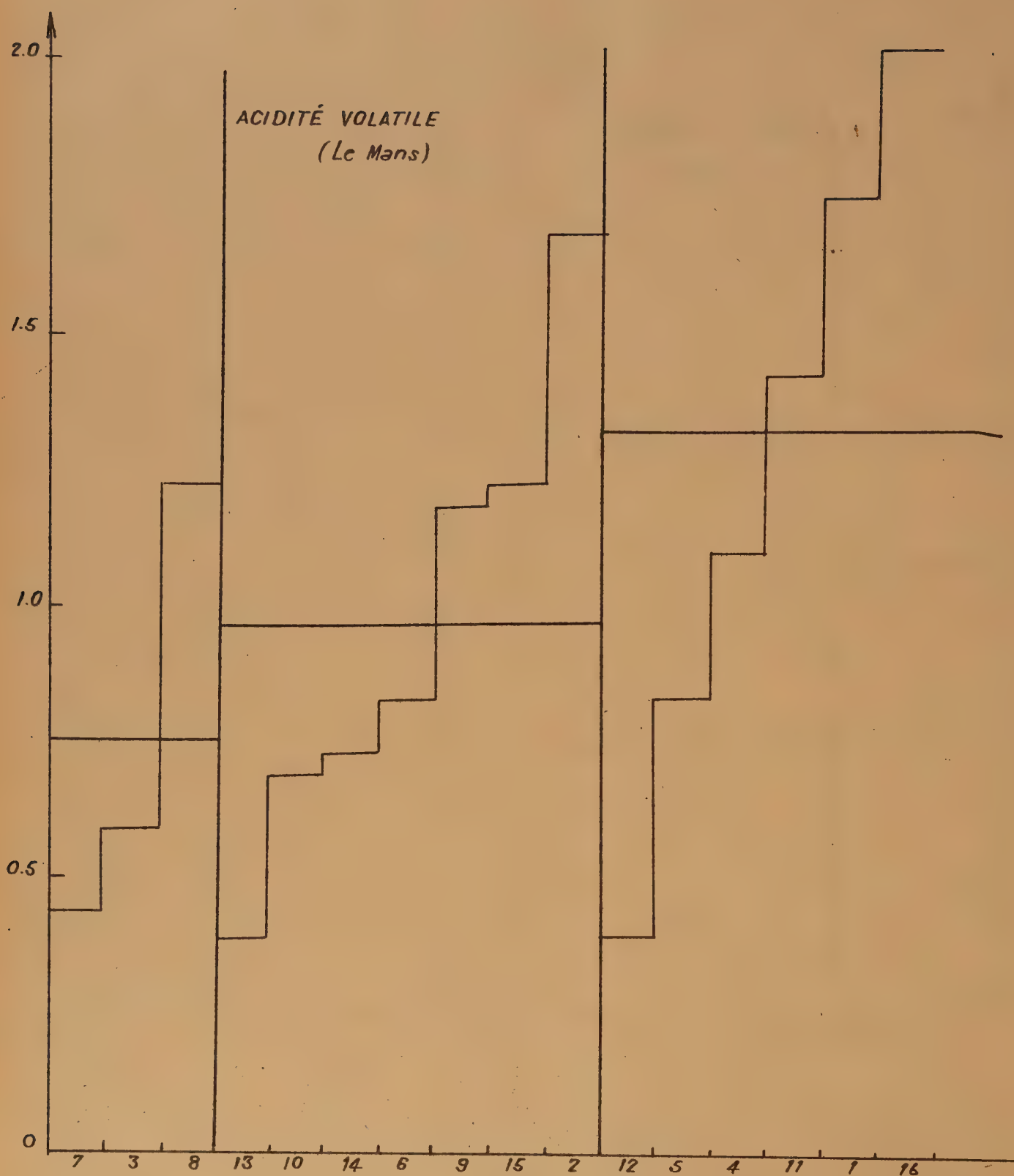


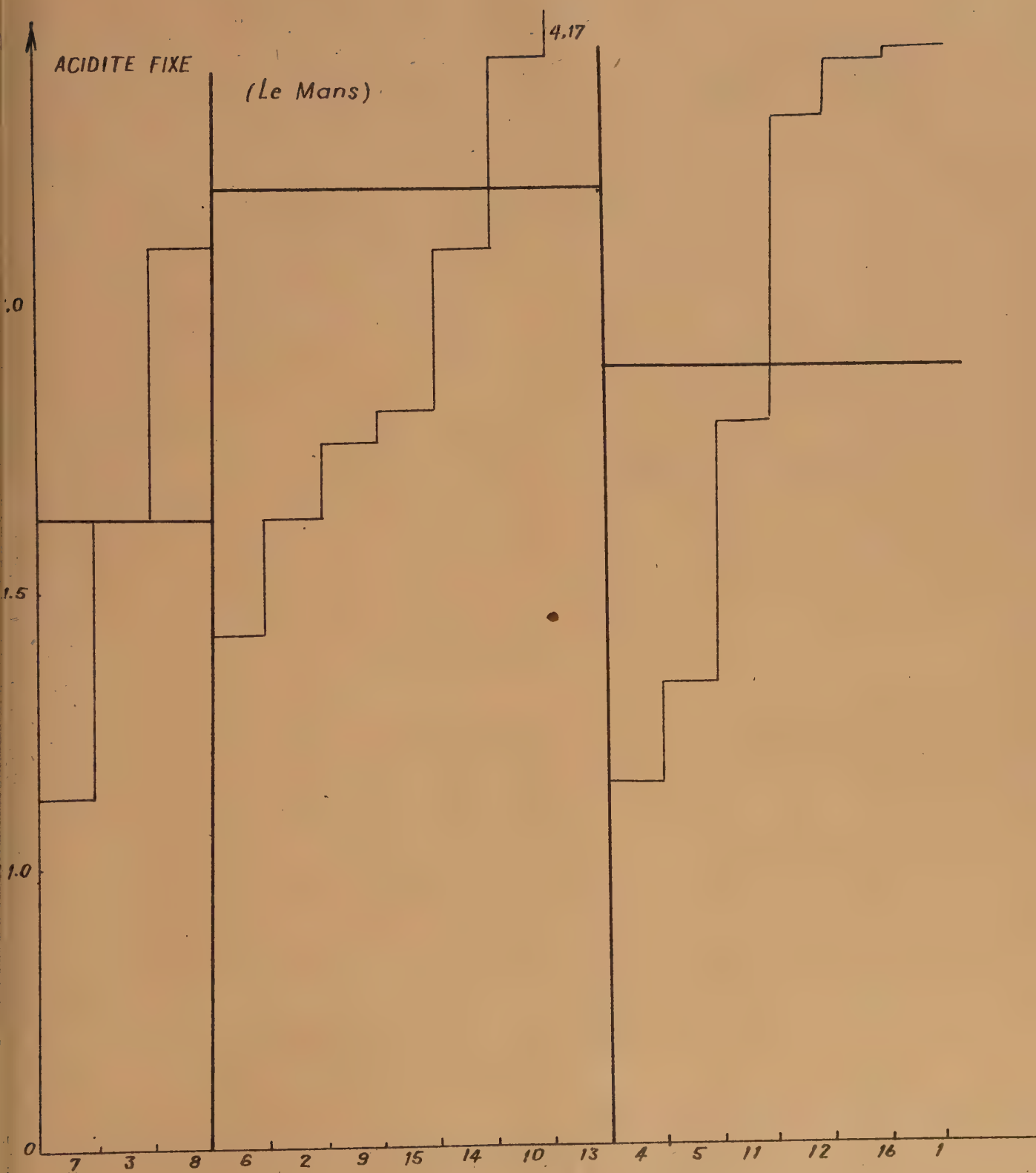


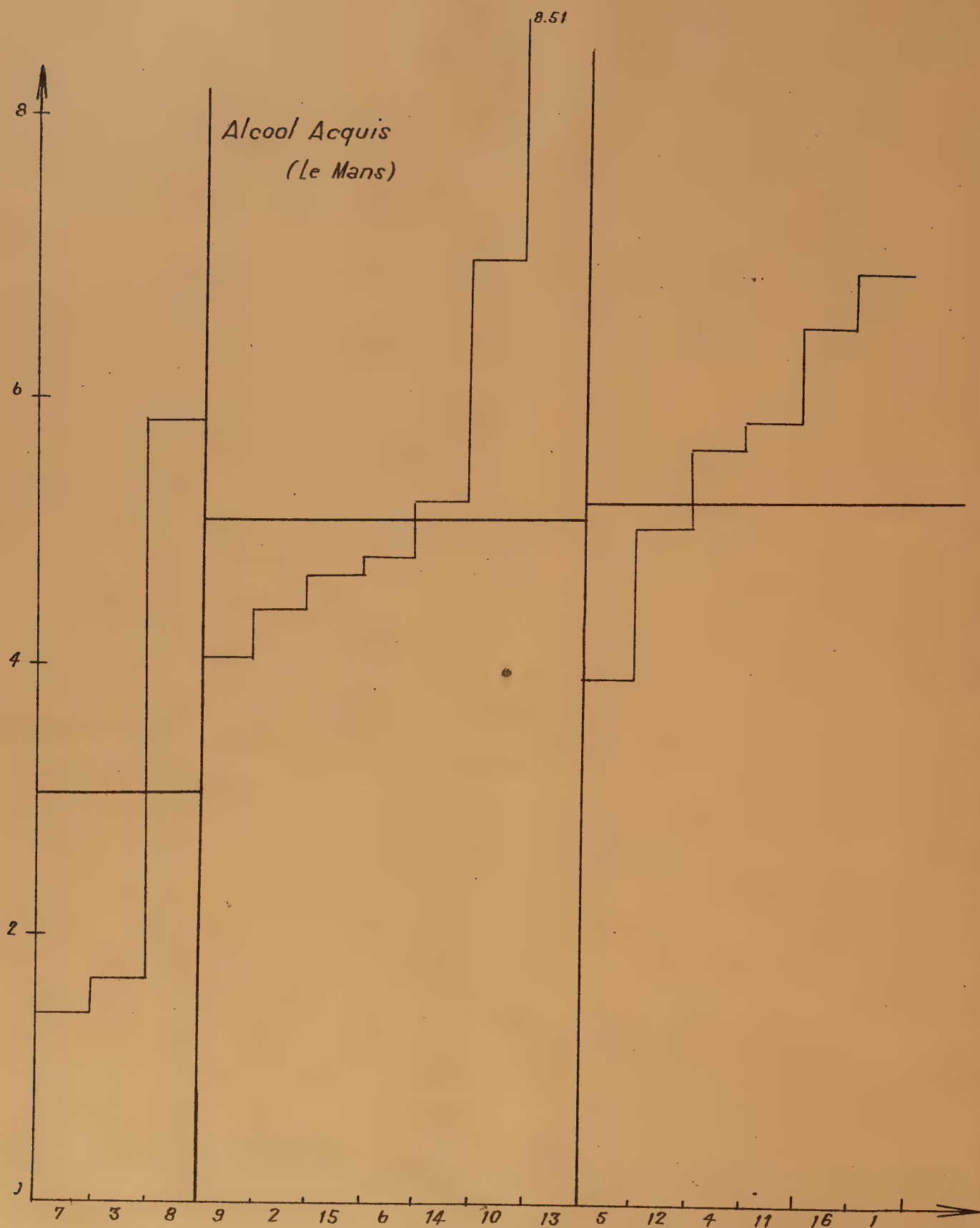


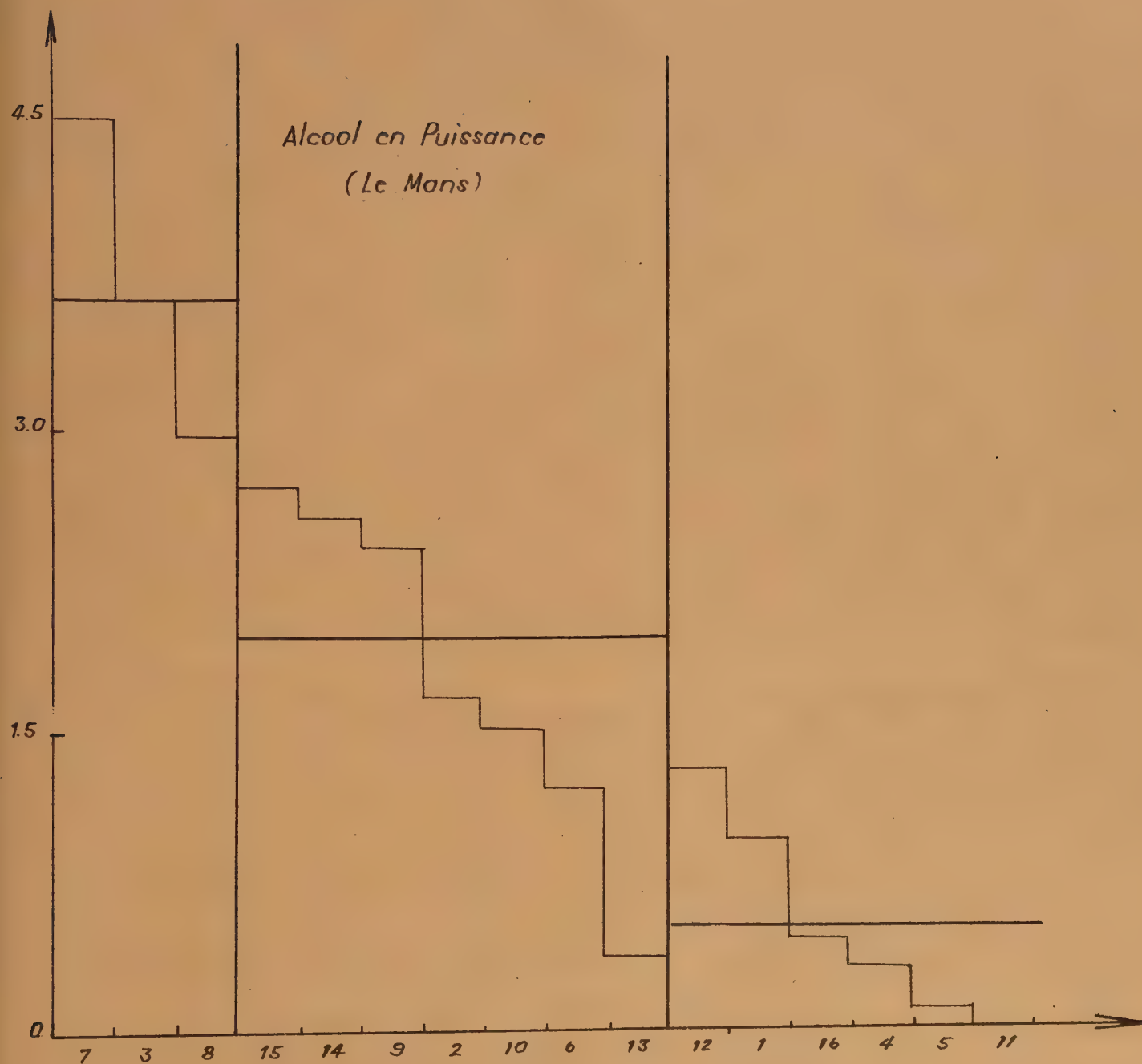


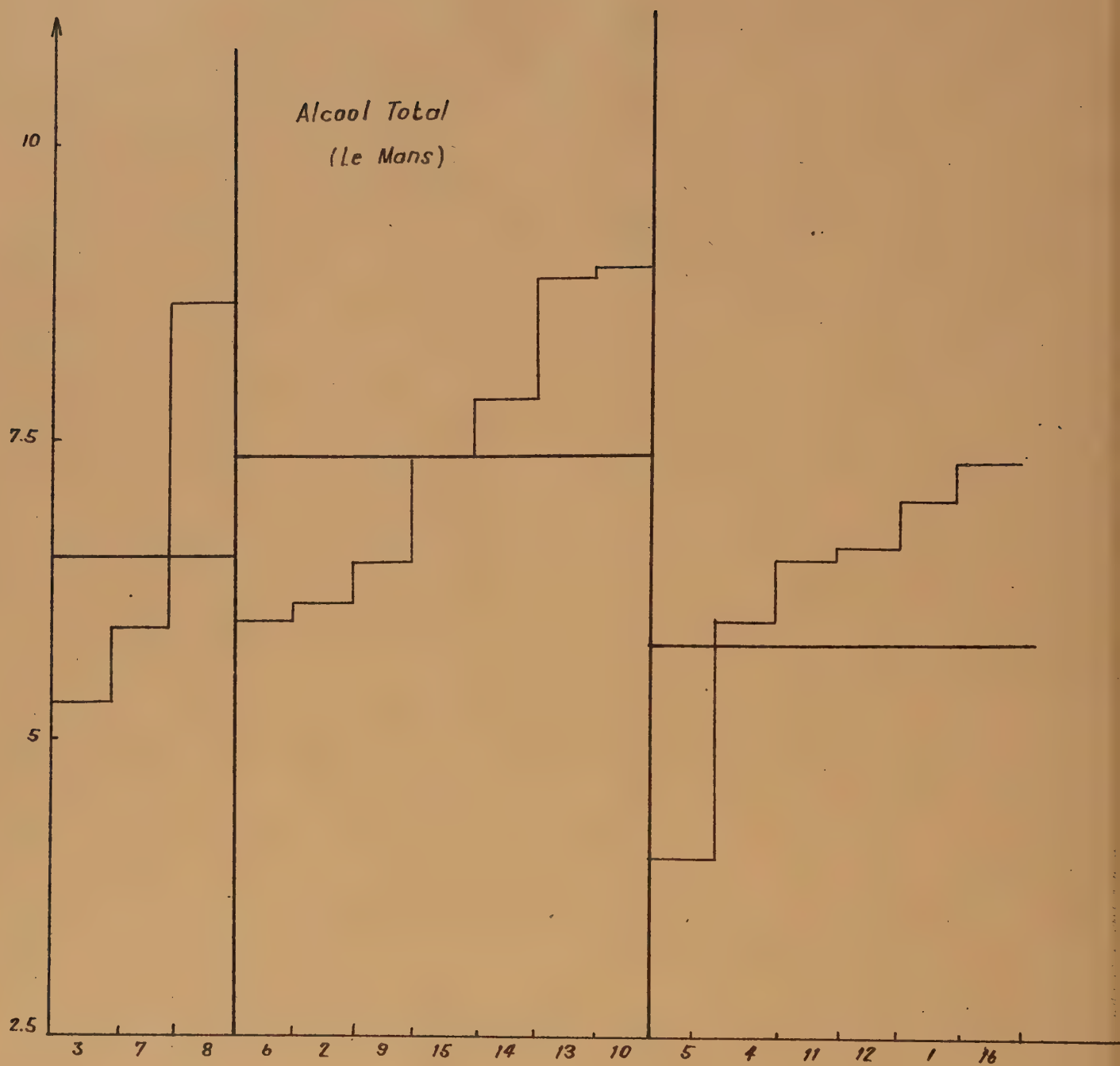




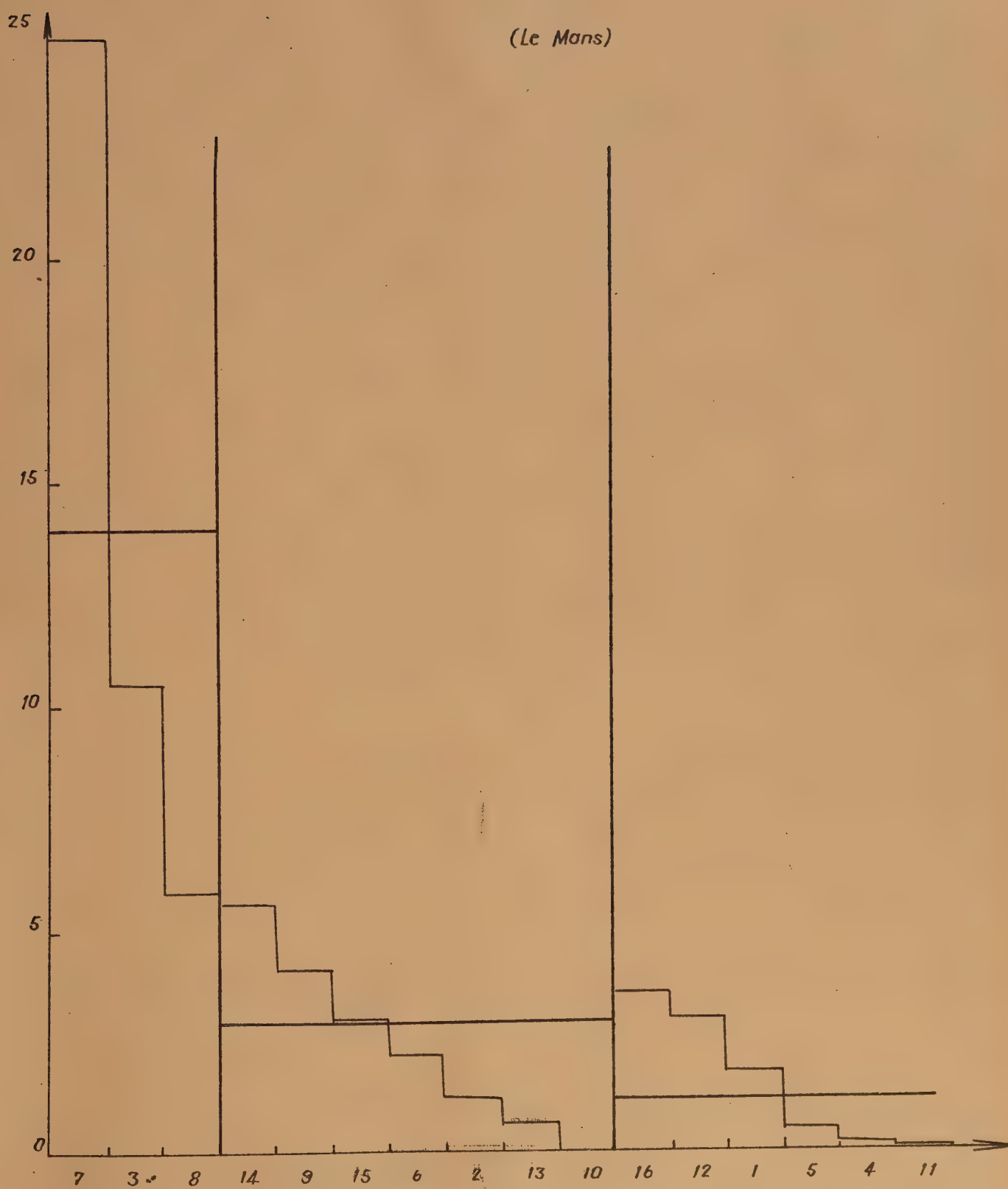


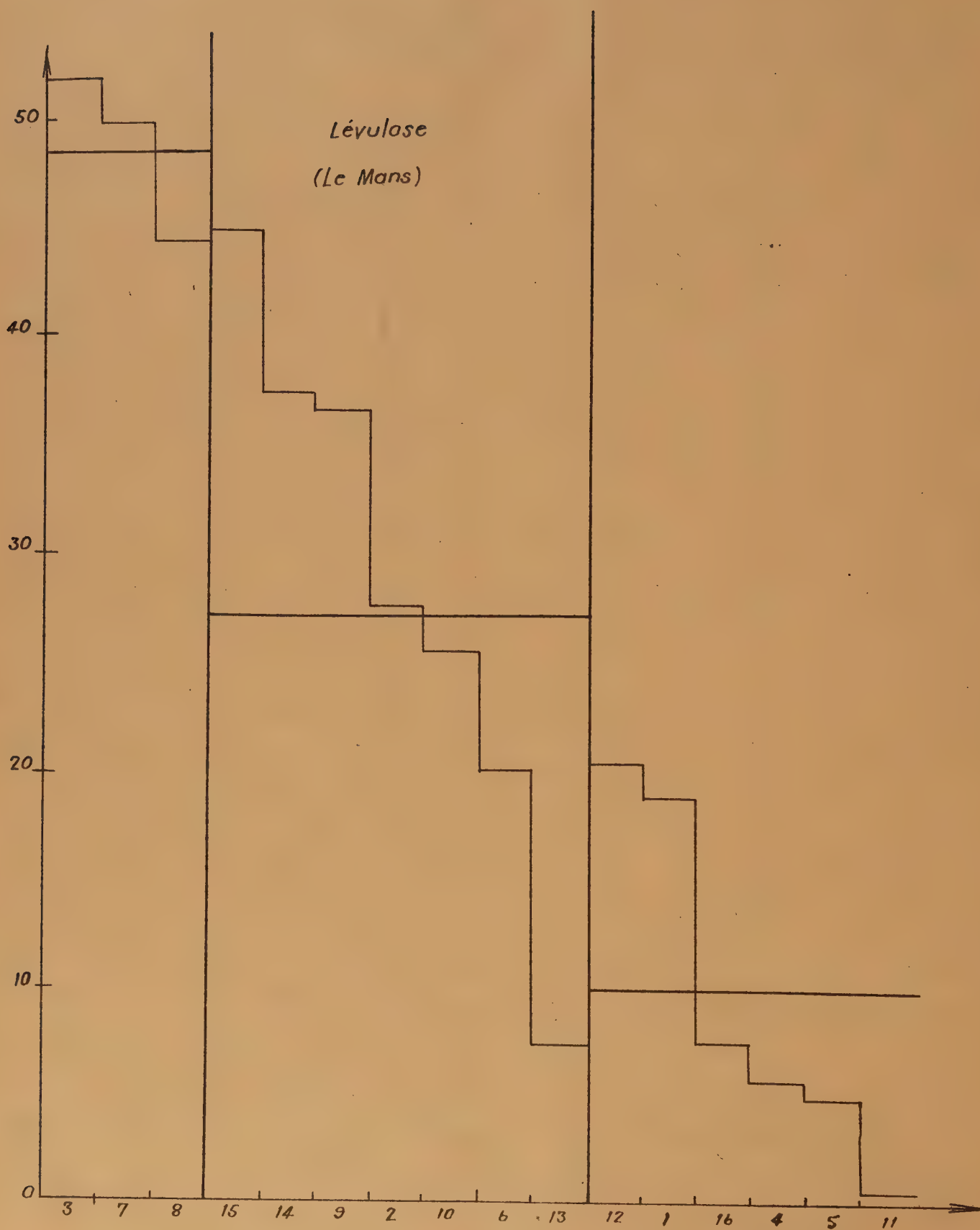




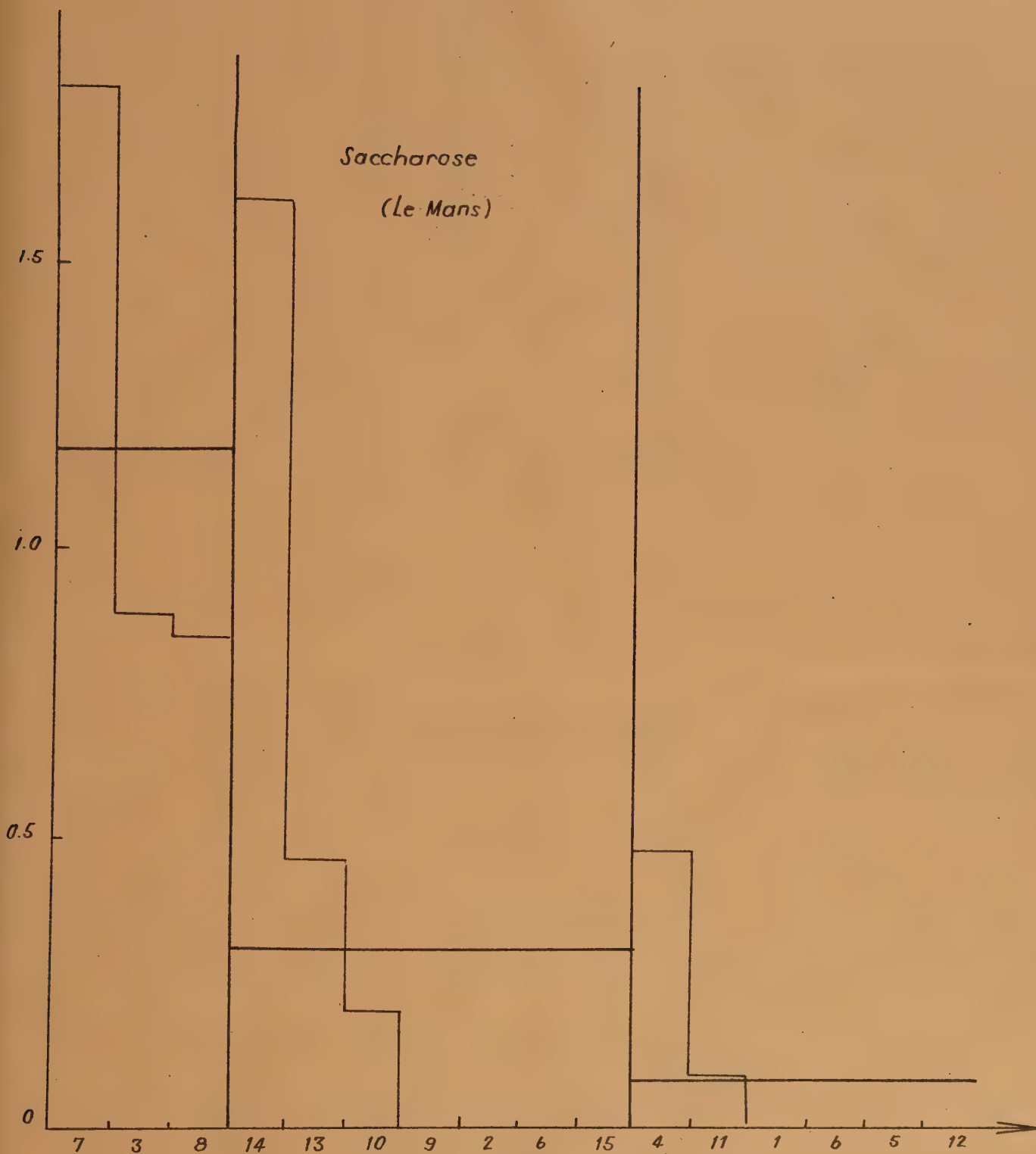


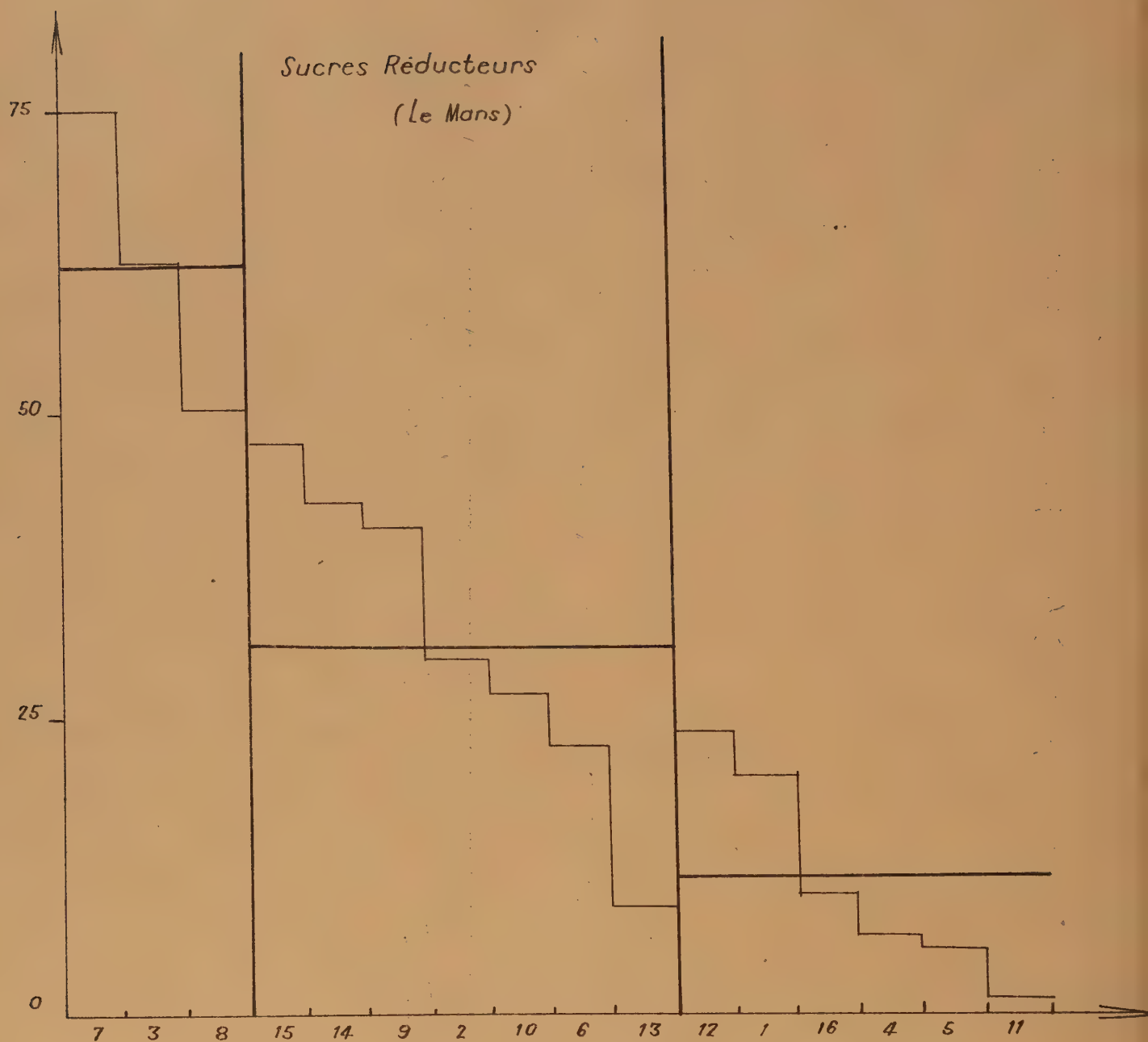
Glucose
(Le Mans)



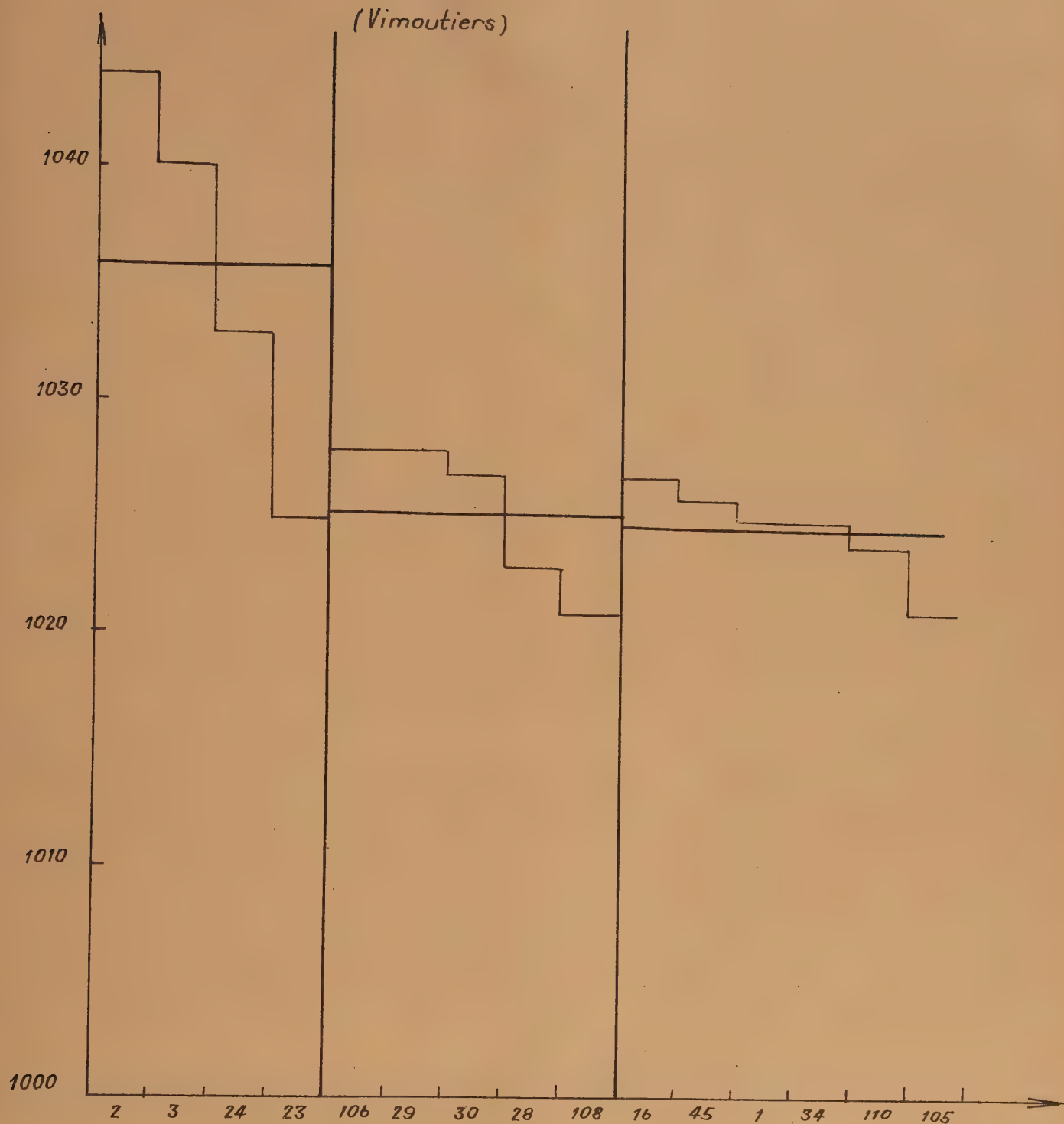


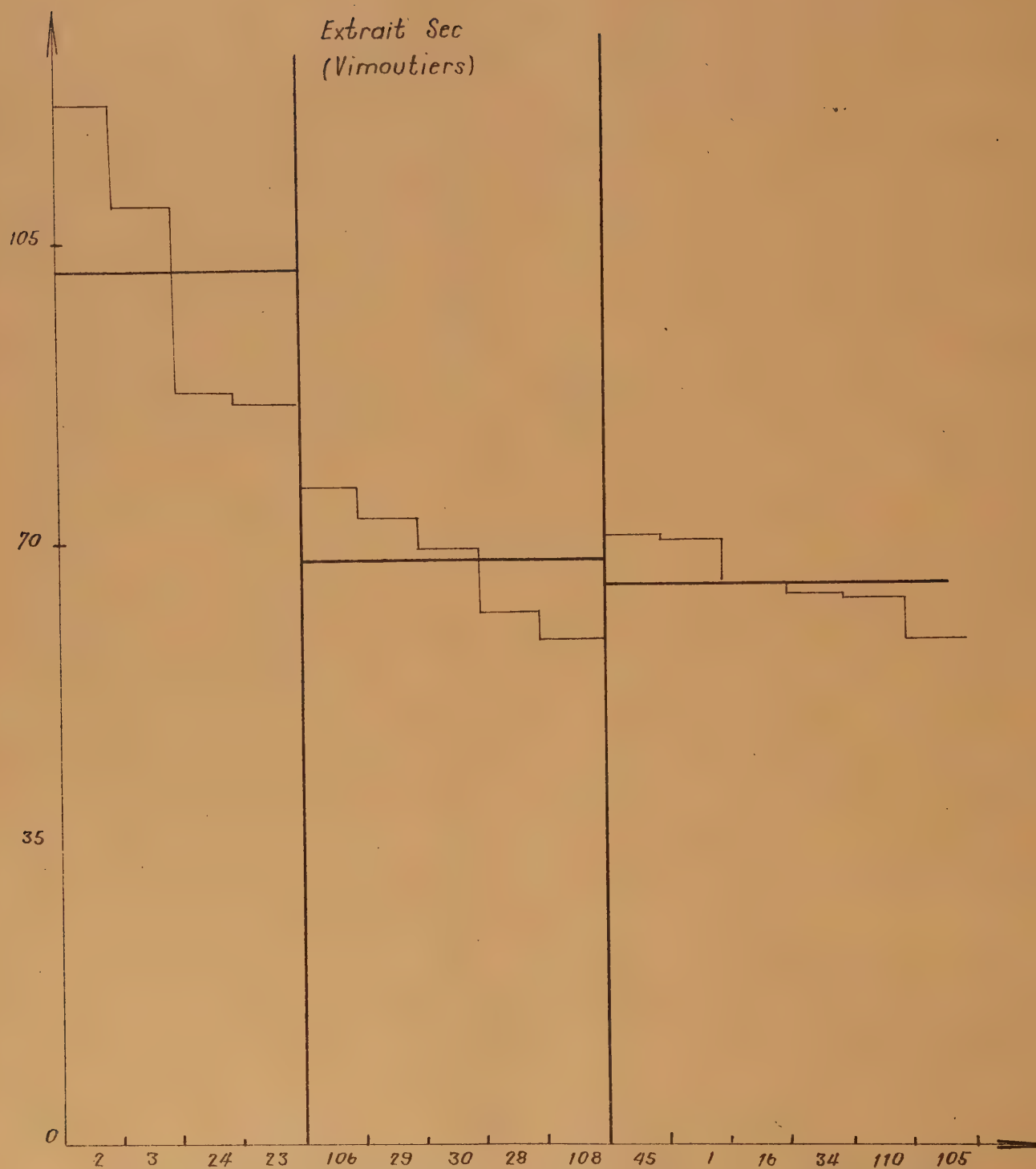
Saccharose
(Le Mans)

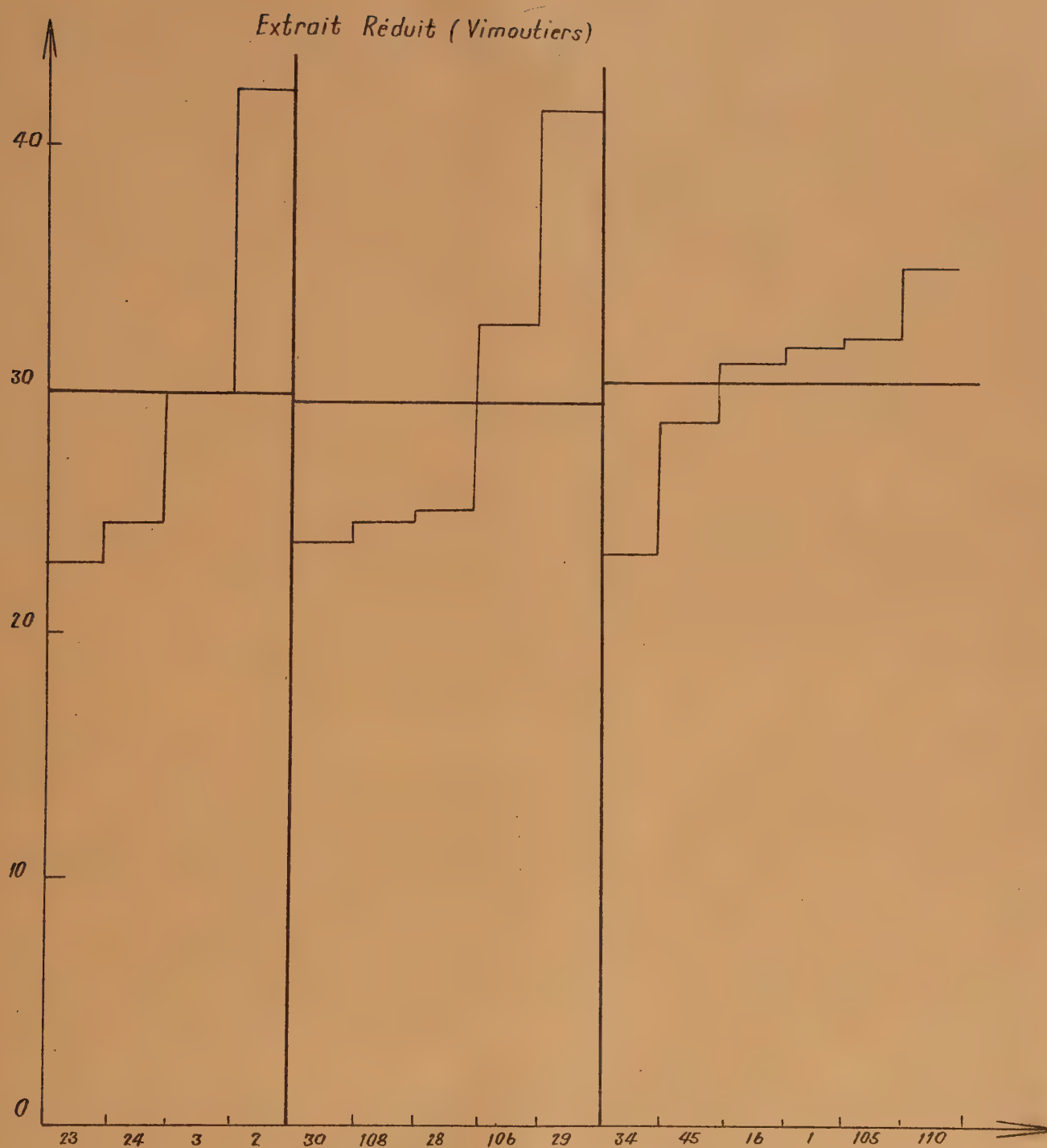


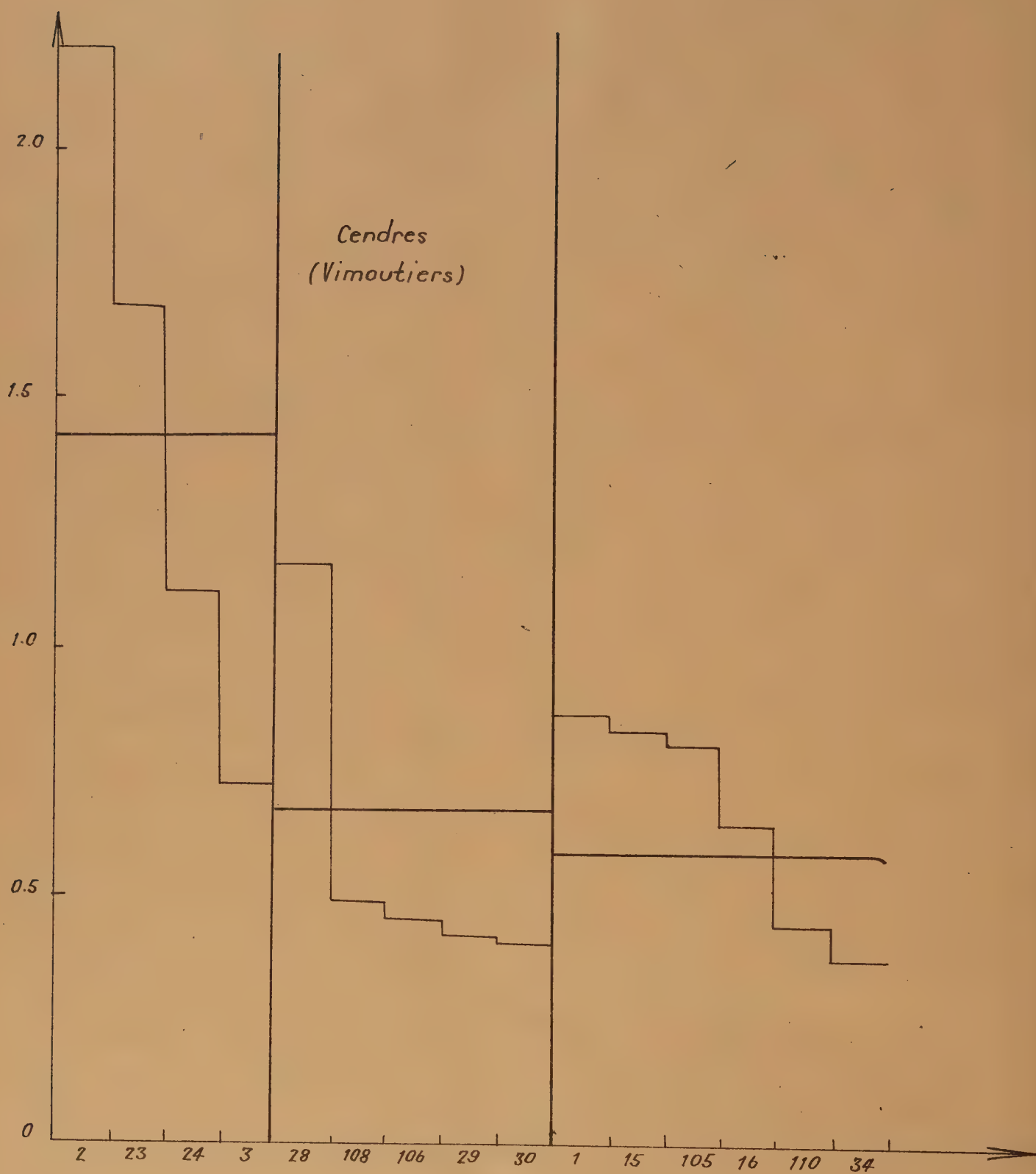


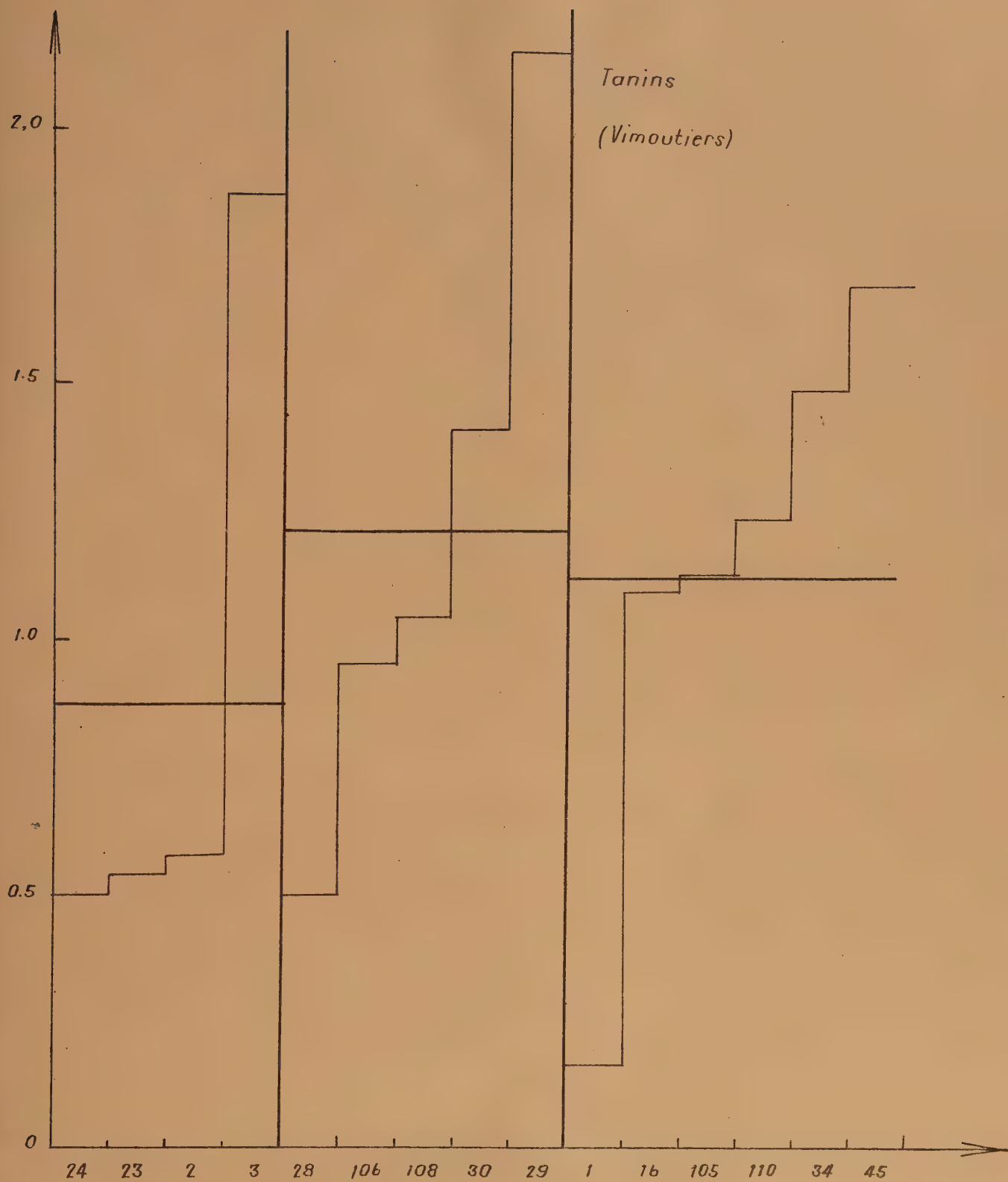
Densité
(Vimoutiers)



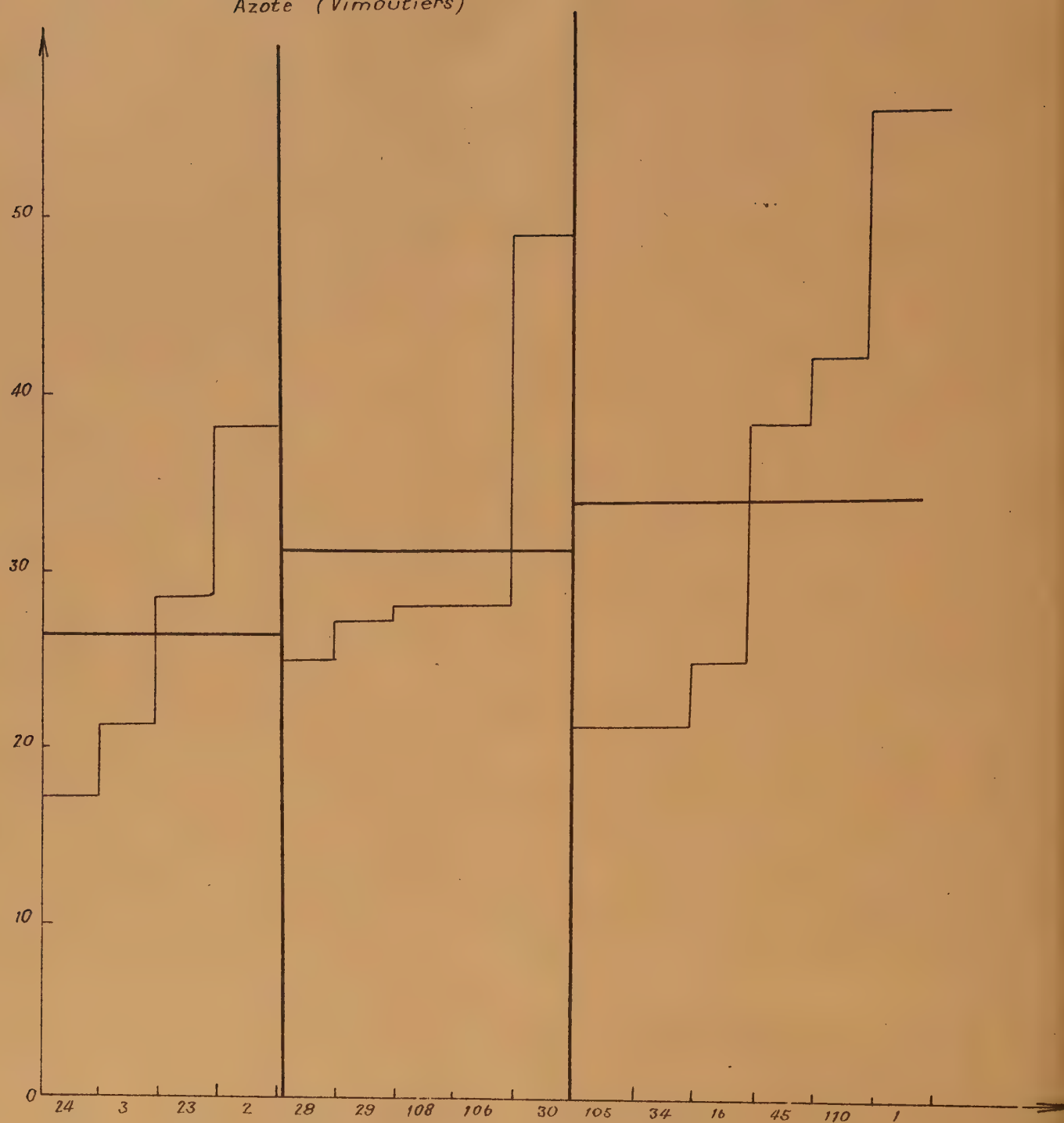




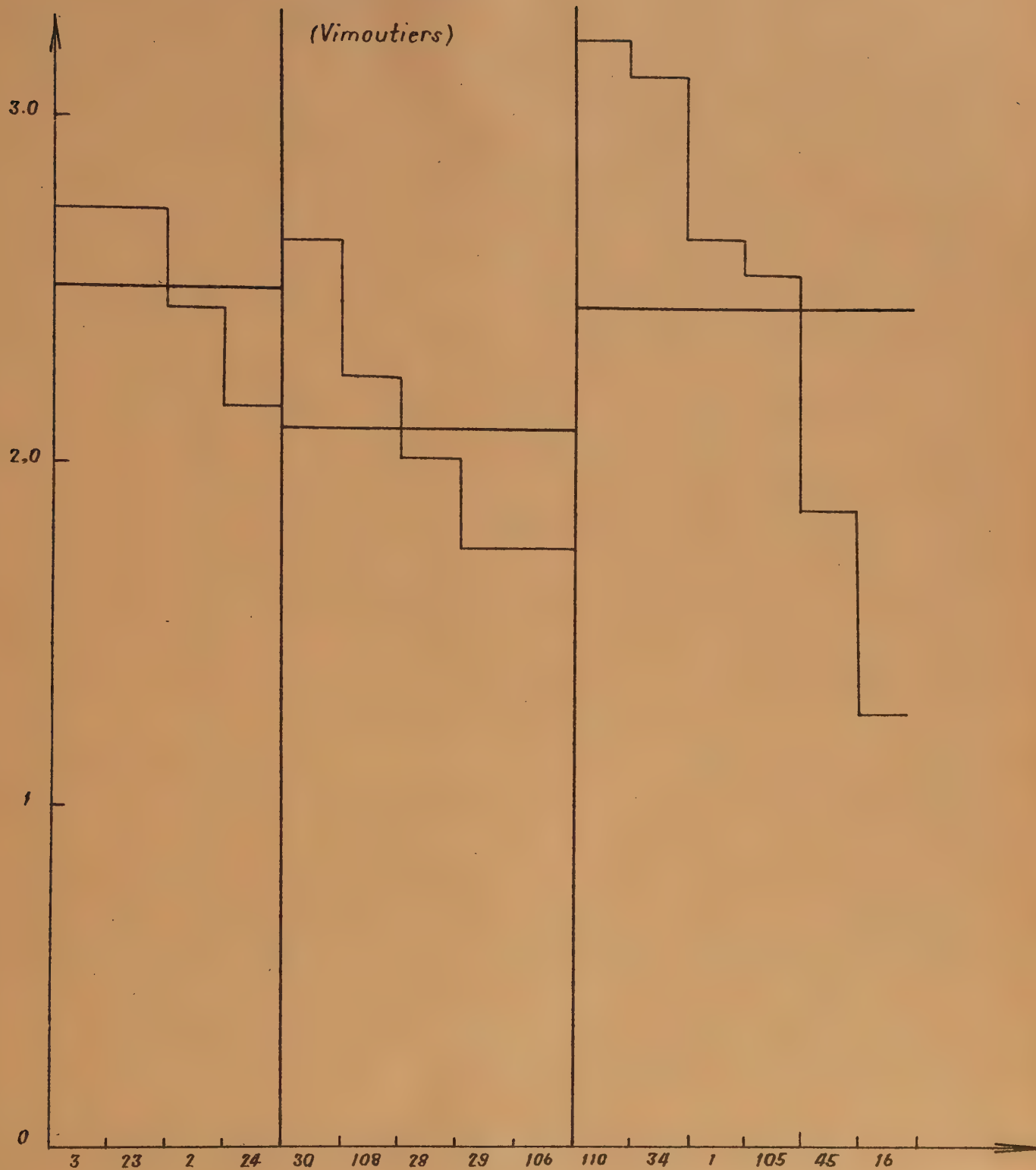




Azote (Vimoutiers)



Acidité Totale
(Vimoutiers)

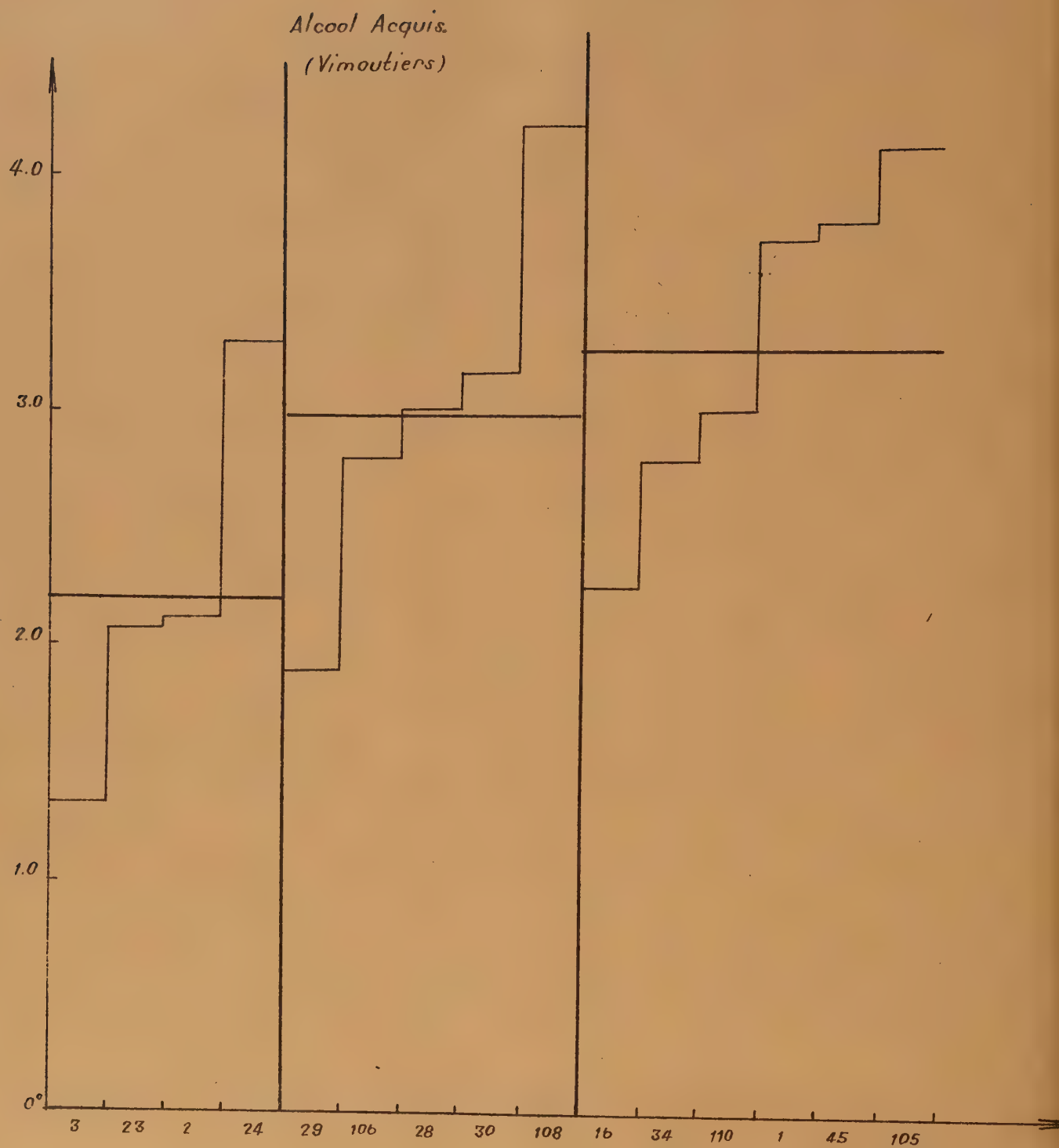




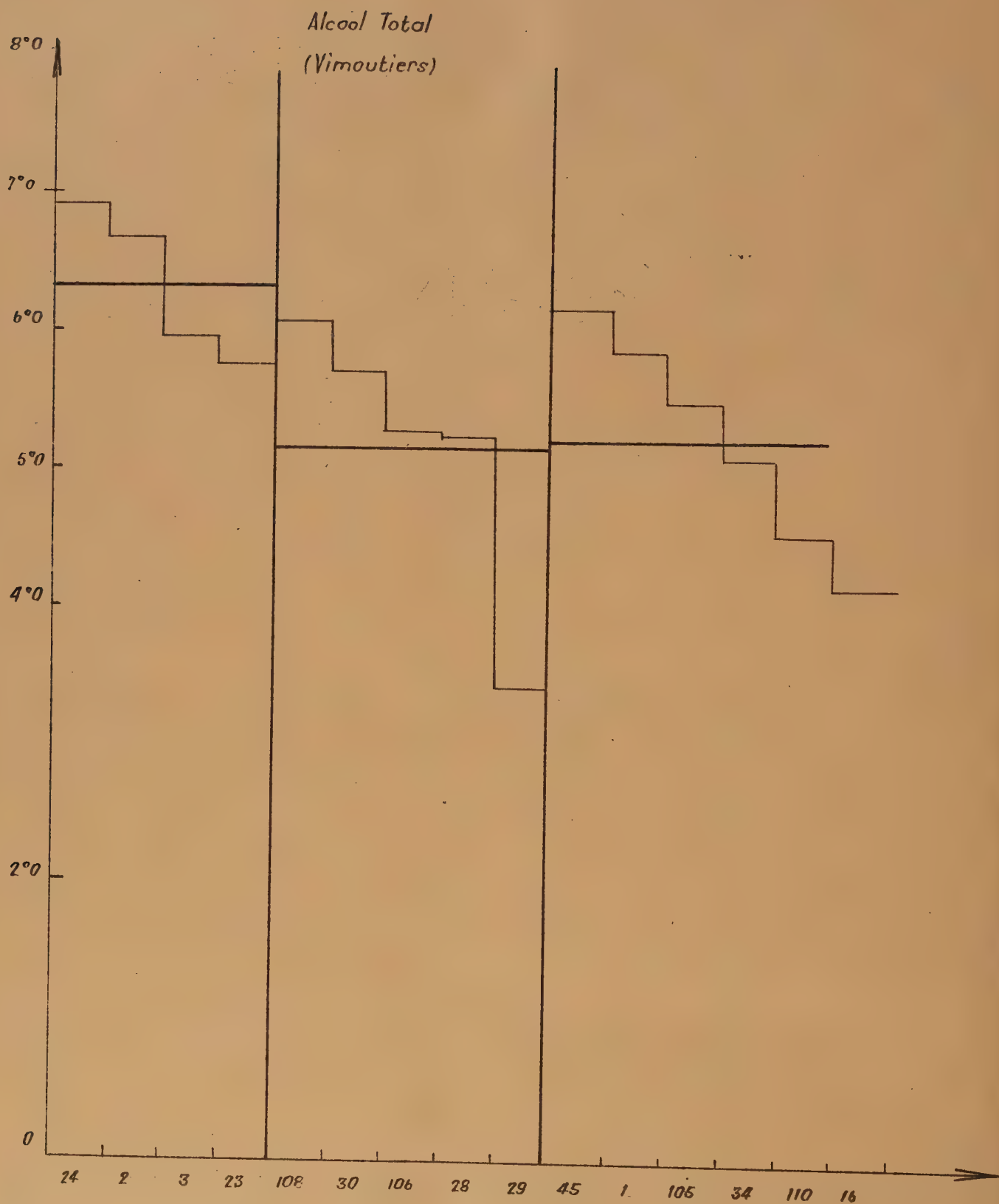
Acidité Fixe

(Vimoutiers)





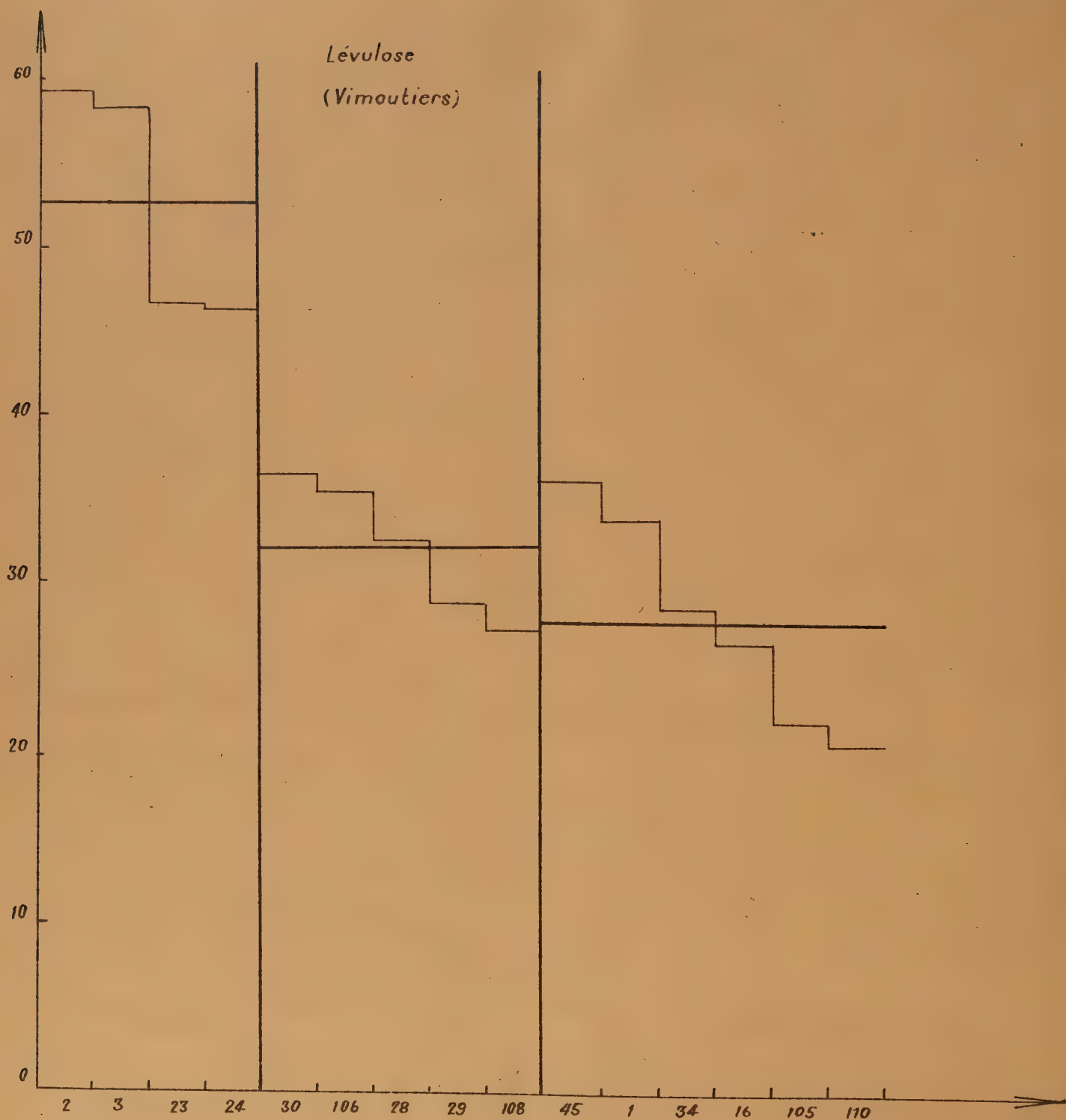




Glucose
(Vimoutiers)



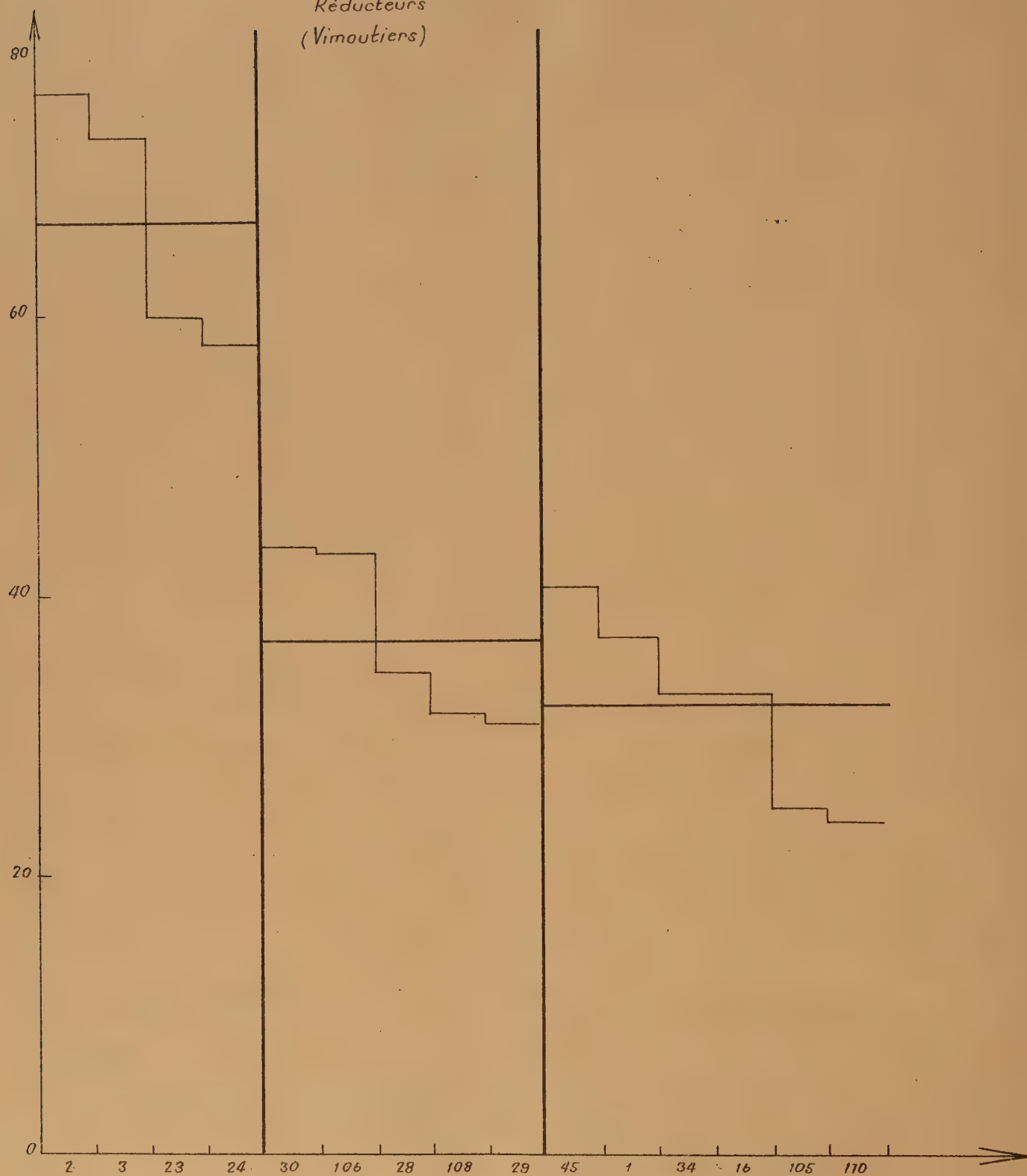
Lévulose
(Vimoutiers)

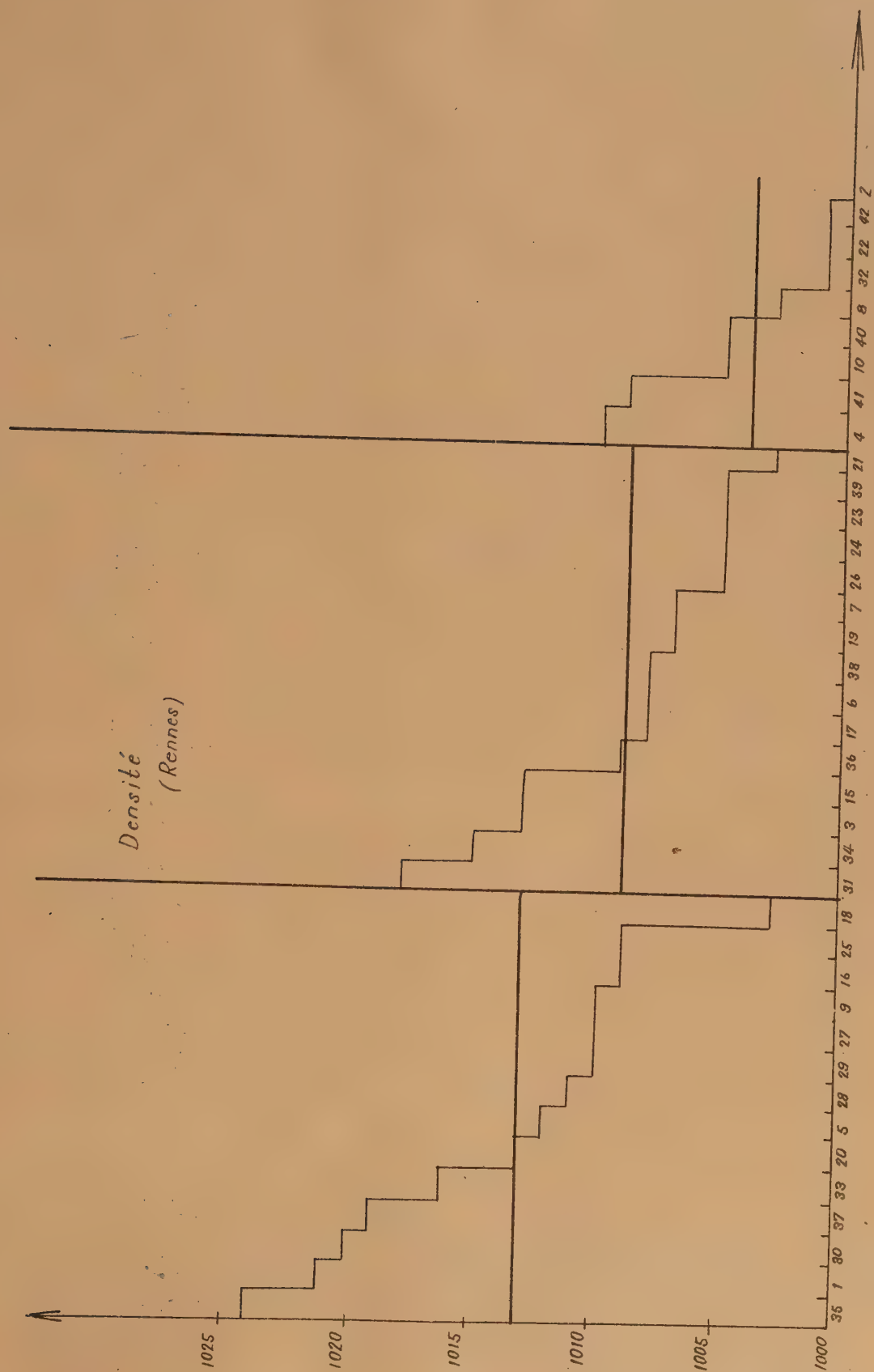


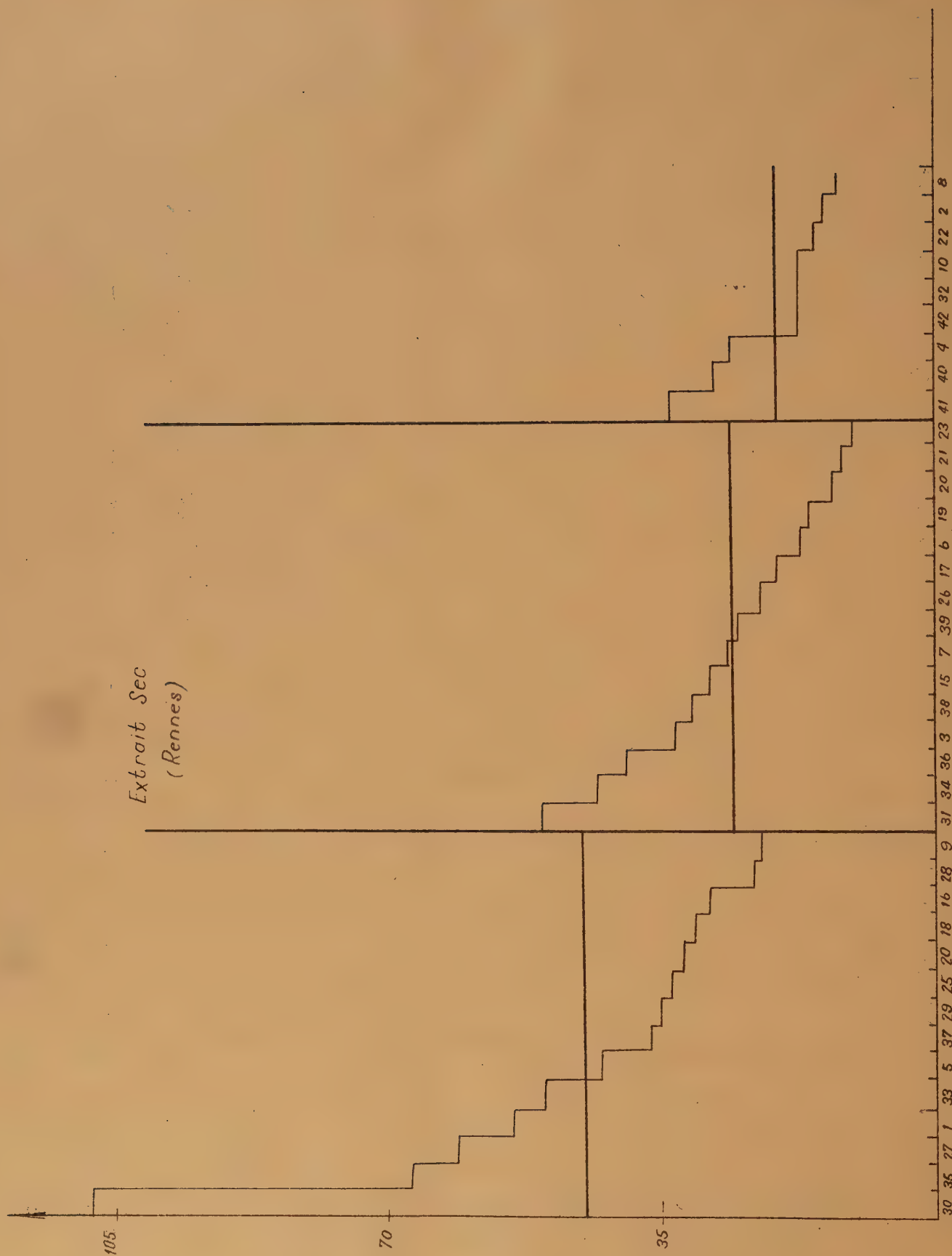
Saccharose
(Vimoutiers)



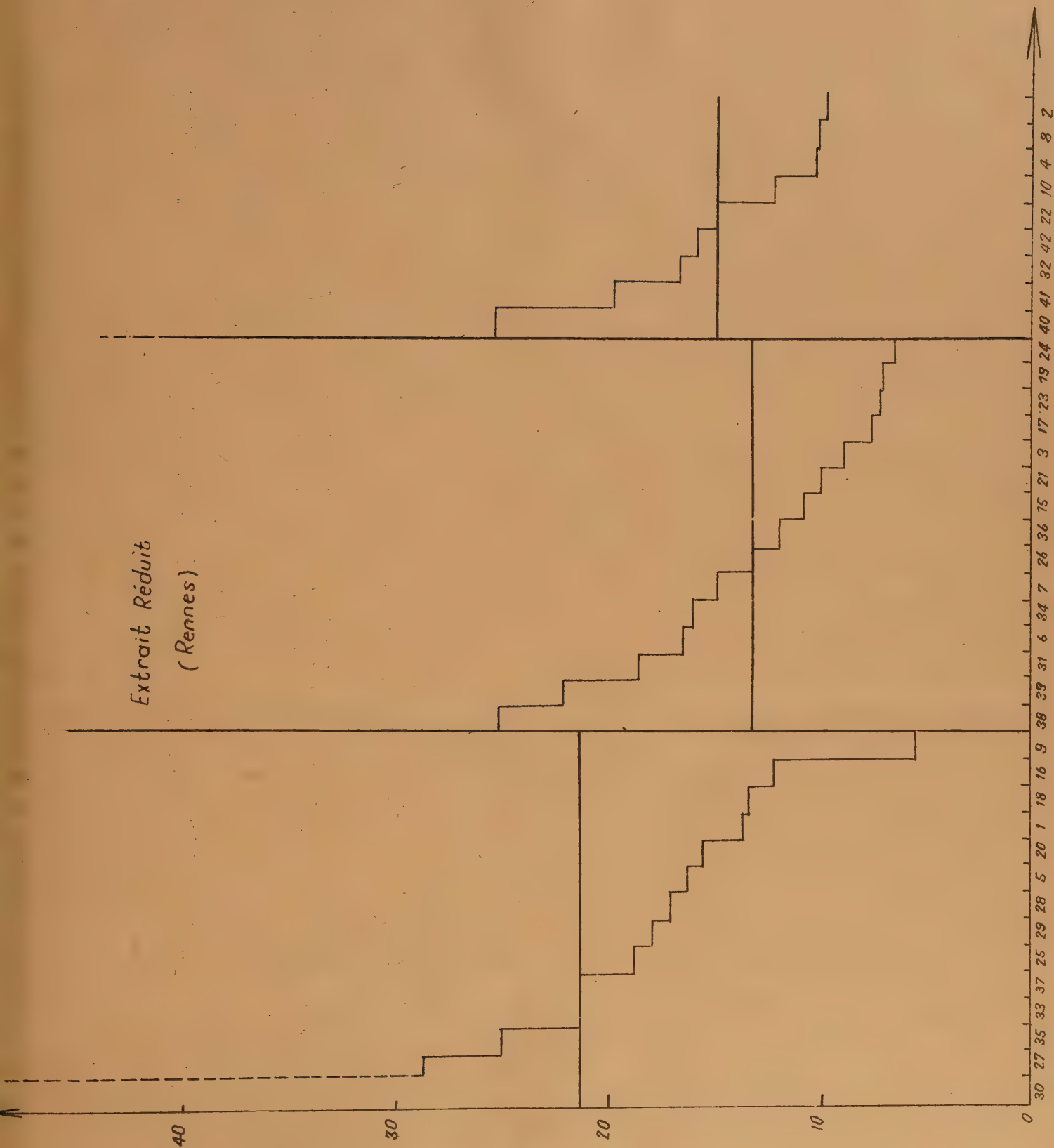
Sucres
Réducteurs
(Vimoutiers)



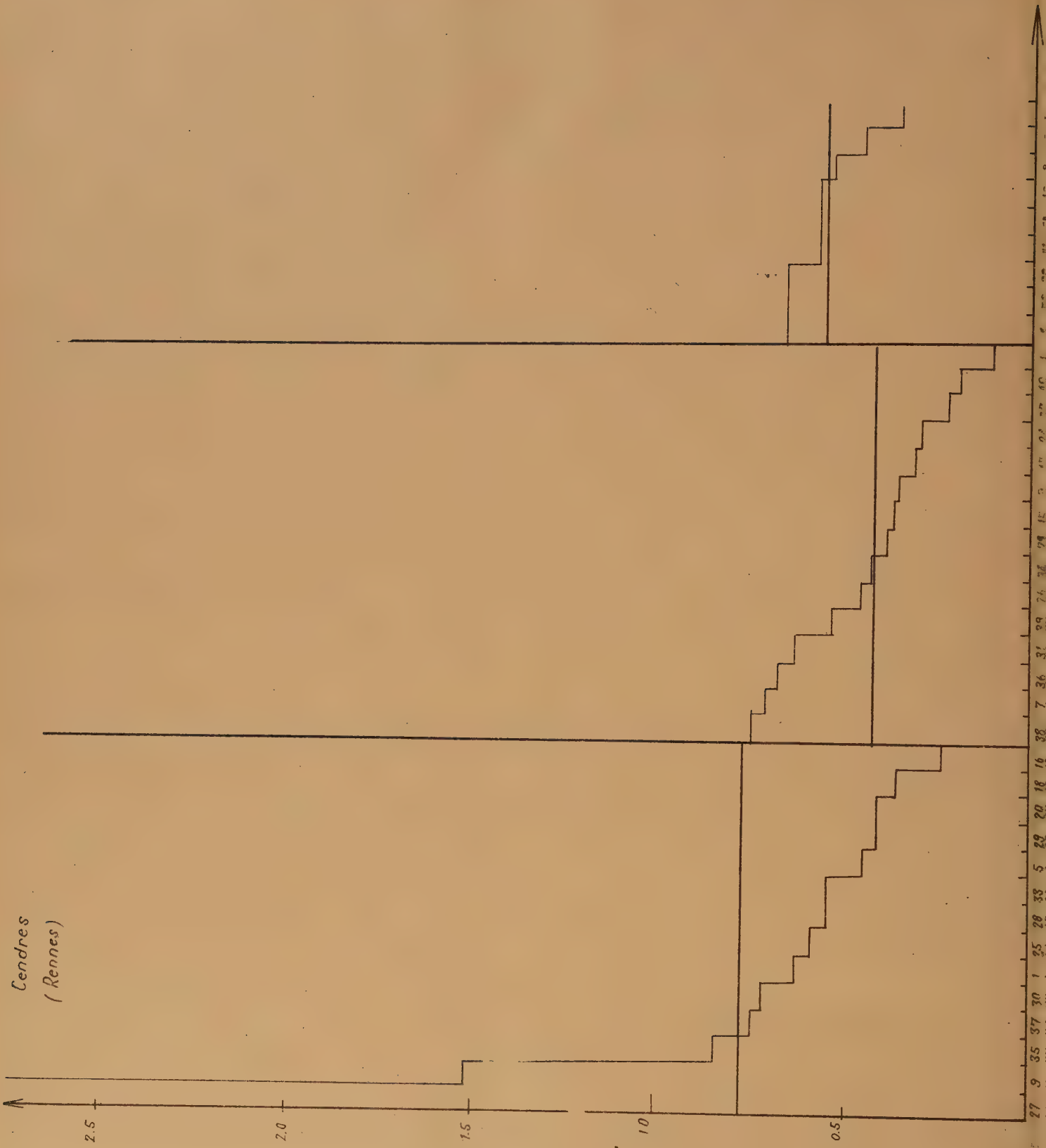




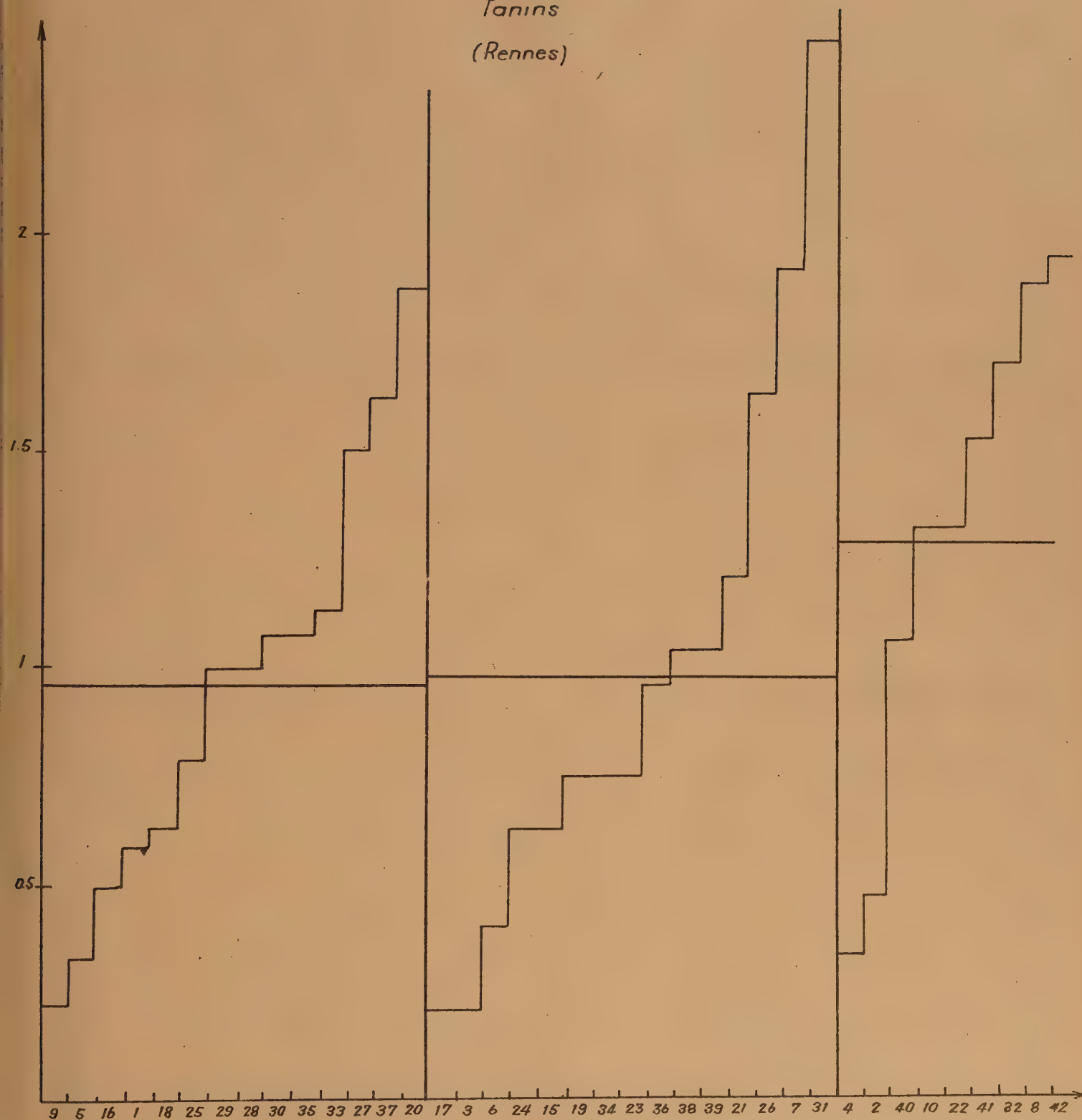
Extrait Réduit
(Rennes)

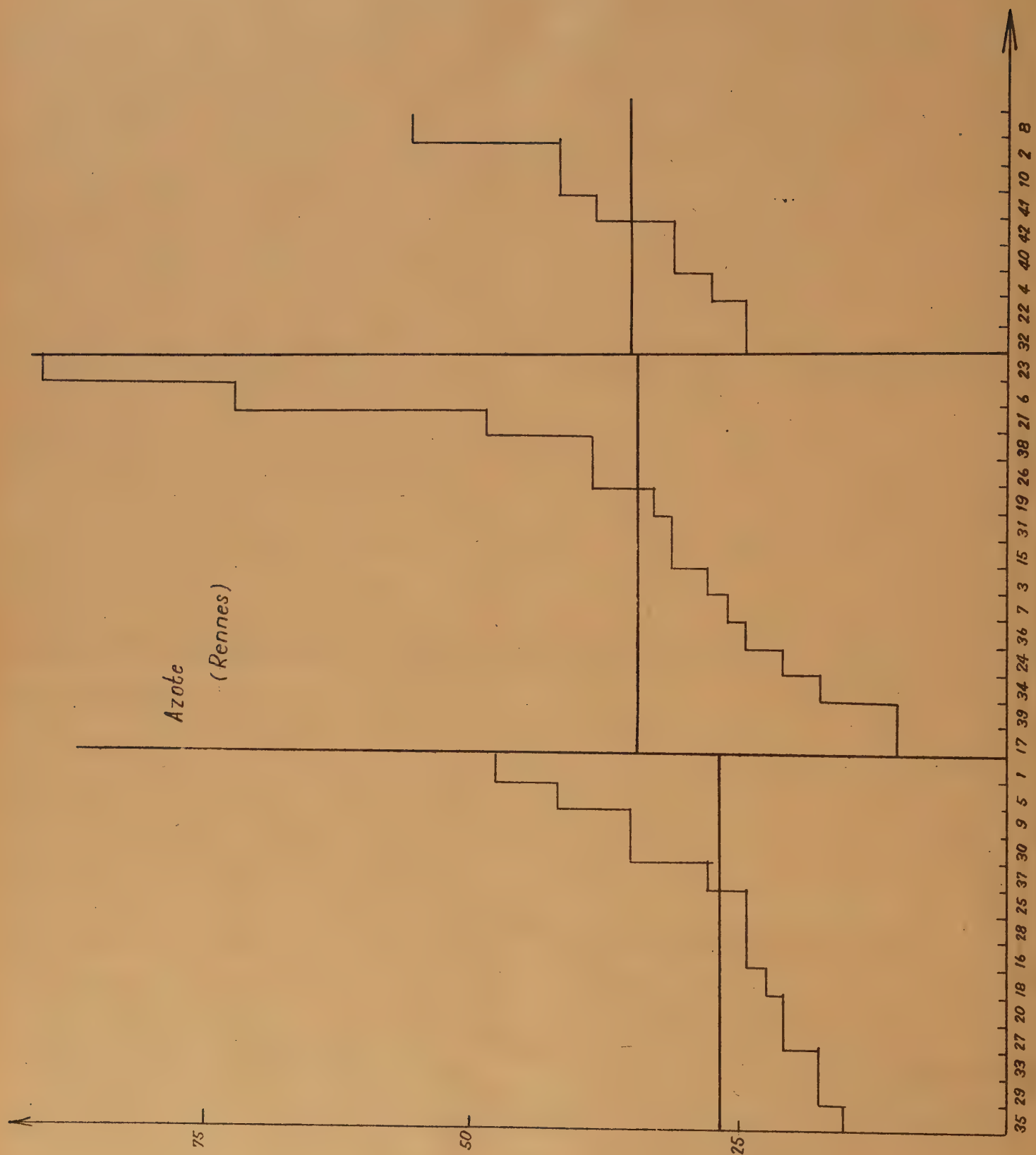


Cendres
(Rennes)

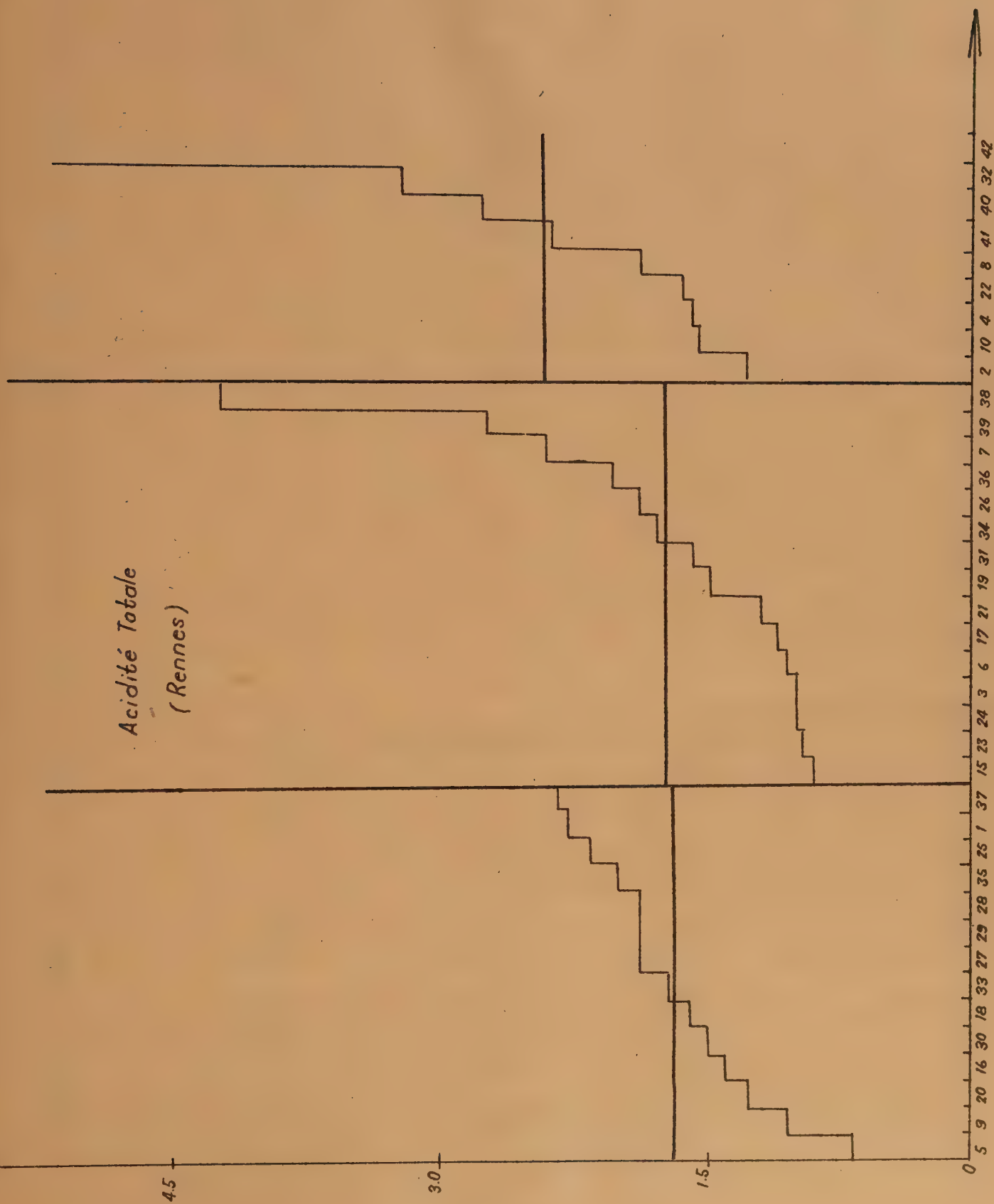


Tanins
(Rennes)

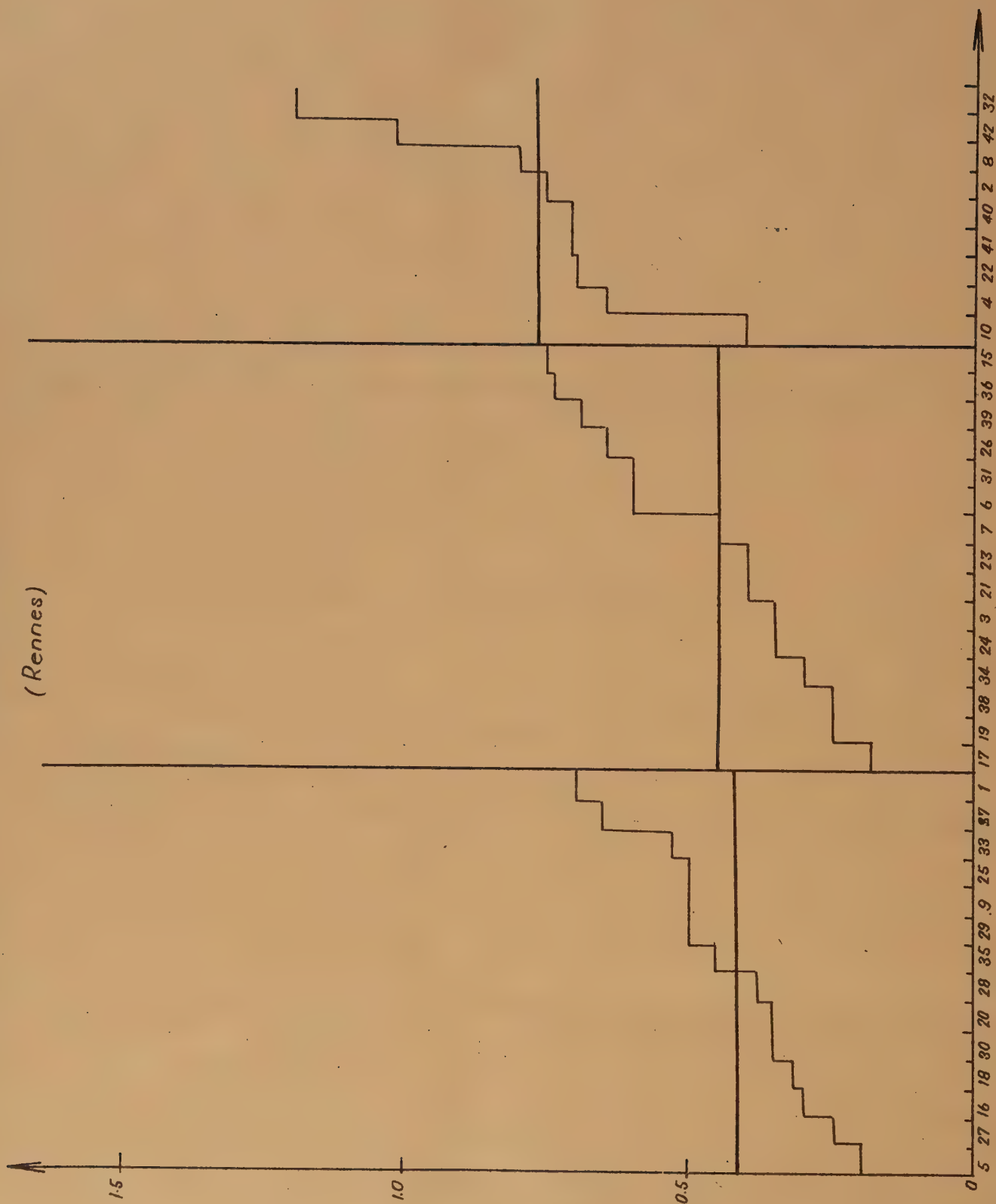




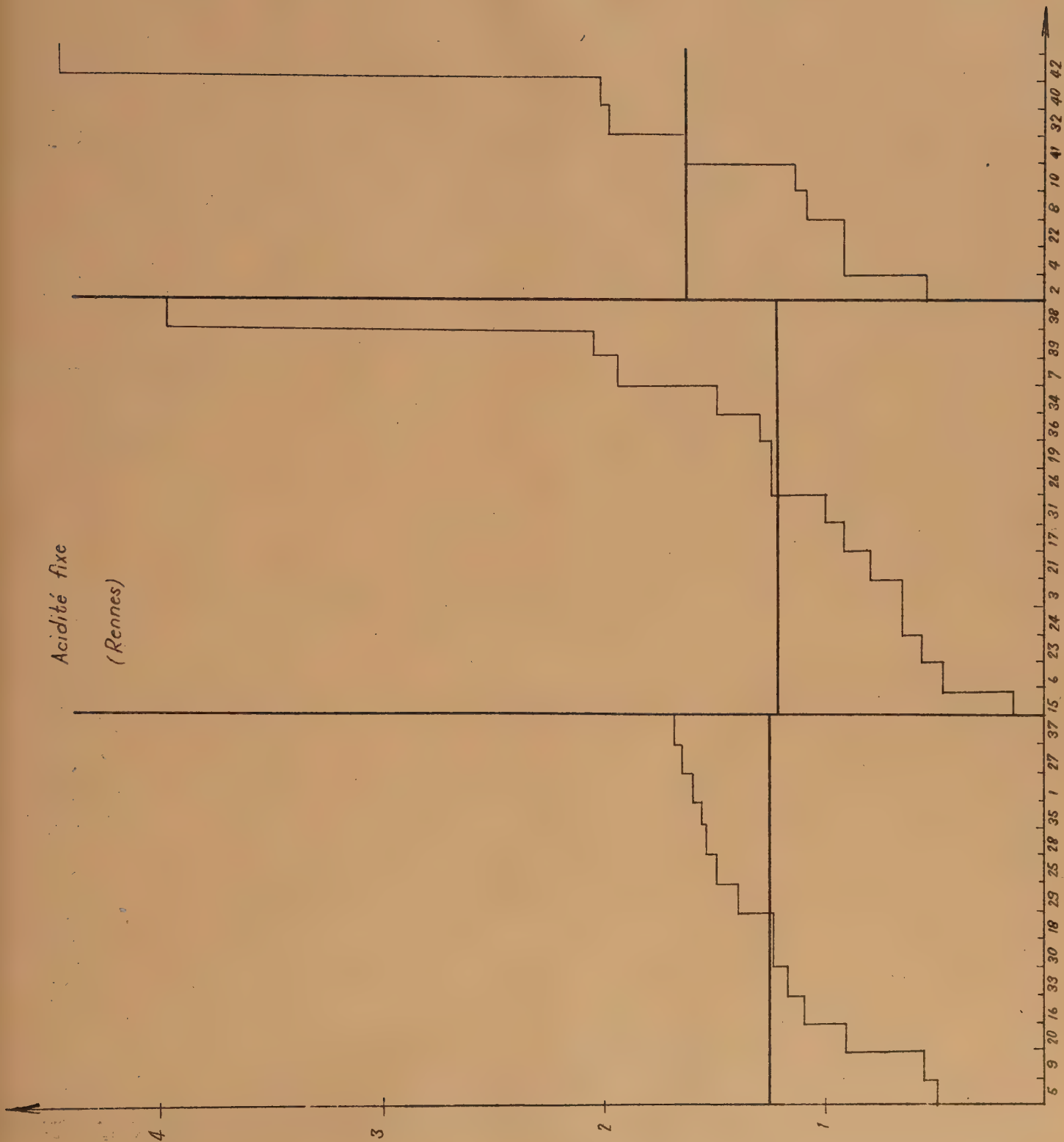
Acidité Totale
(Rennes)



Acidité Volatile
(Rennes)

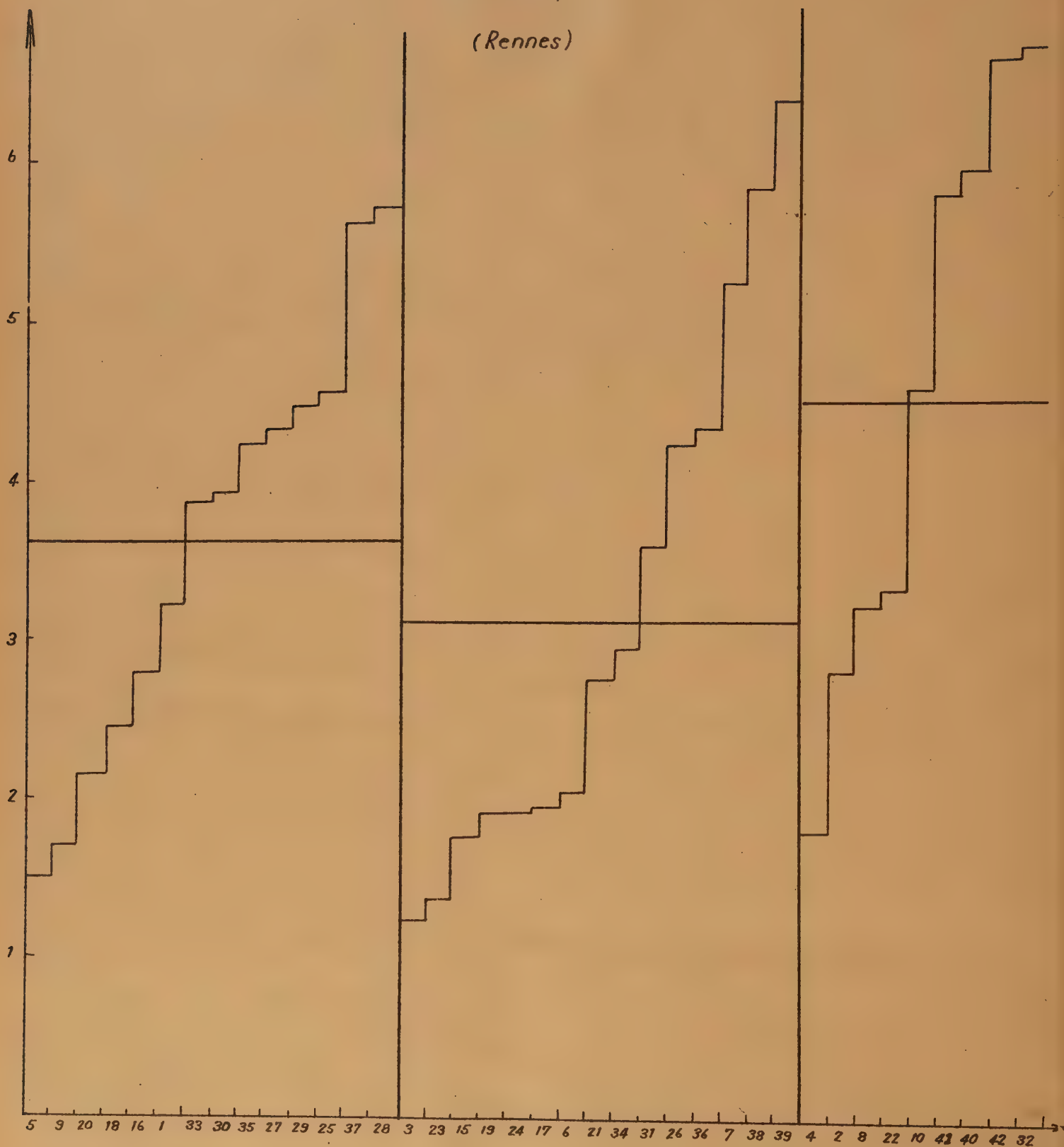


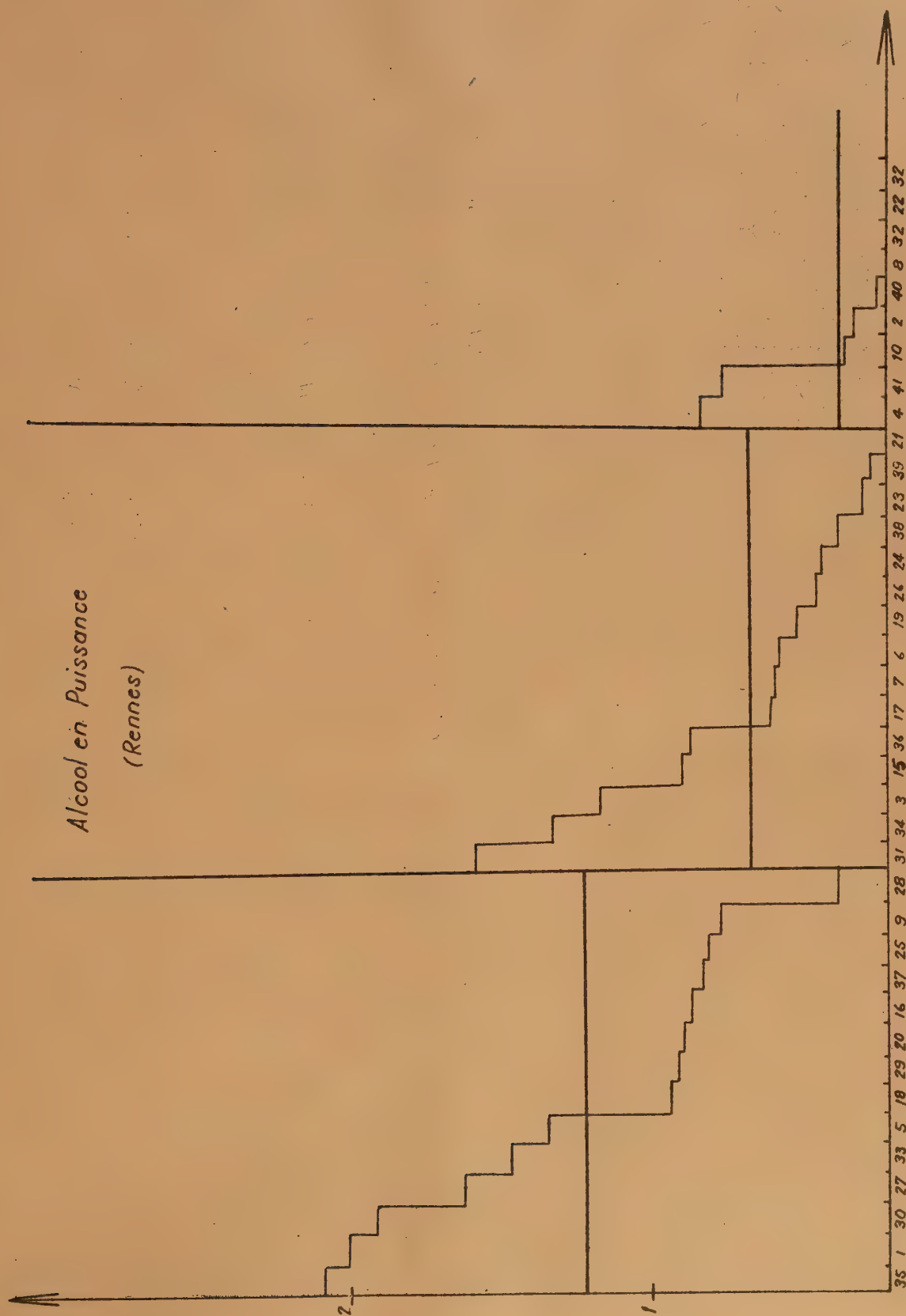
Acidité fixe
(Rennes)

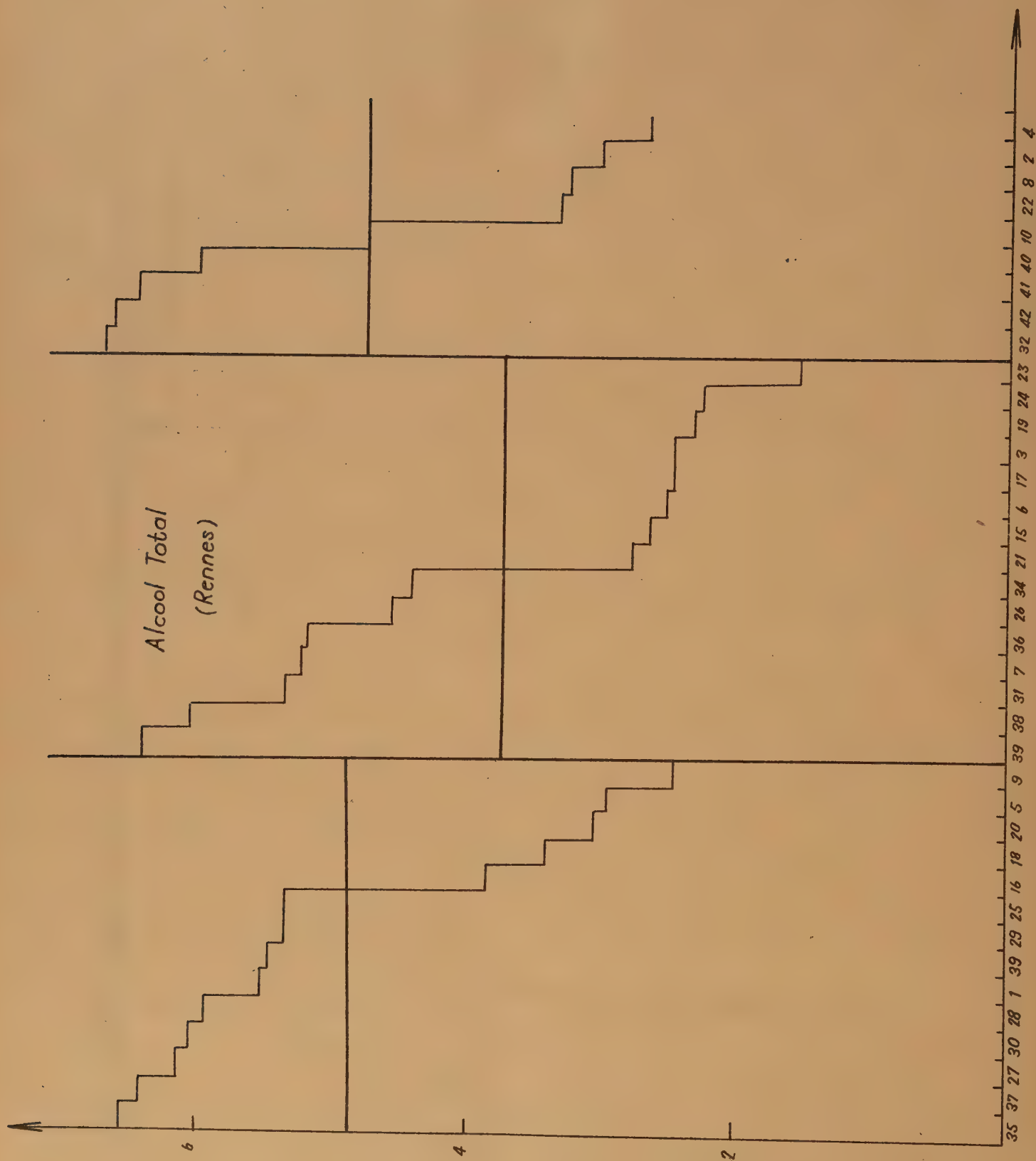


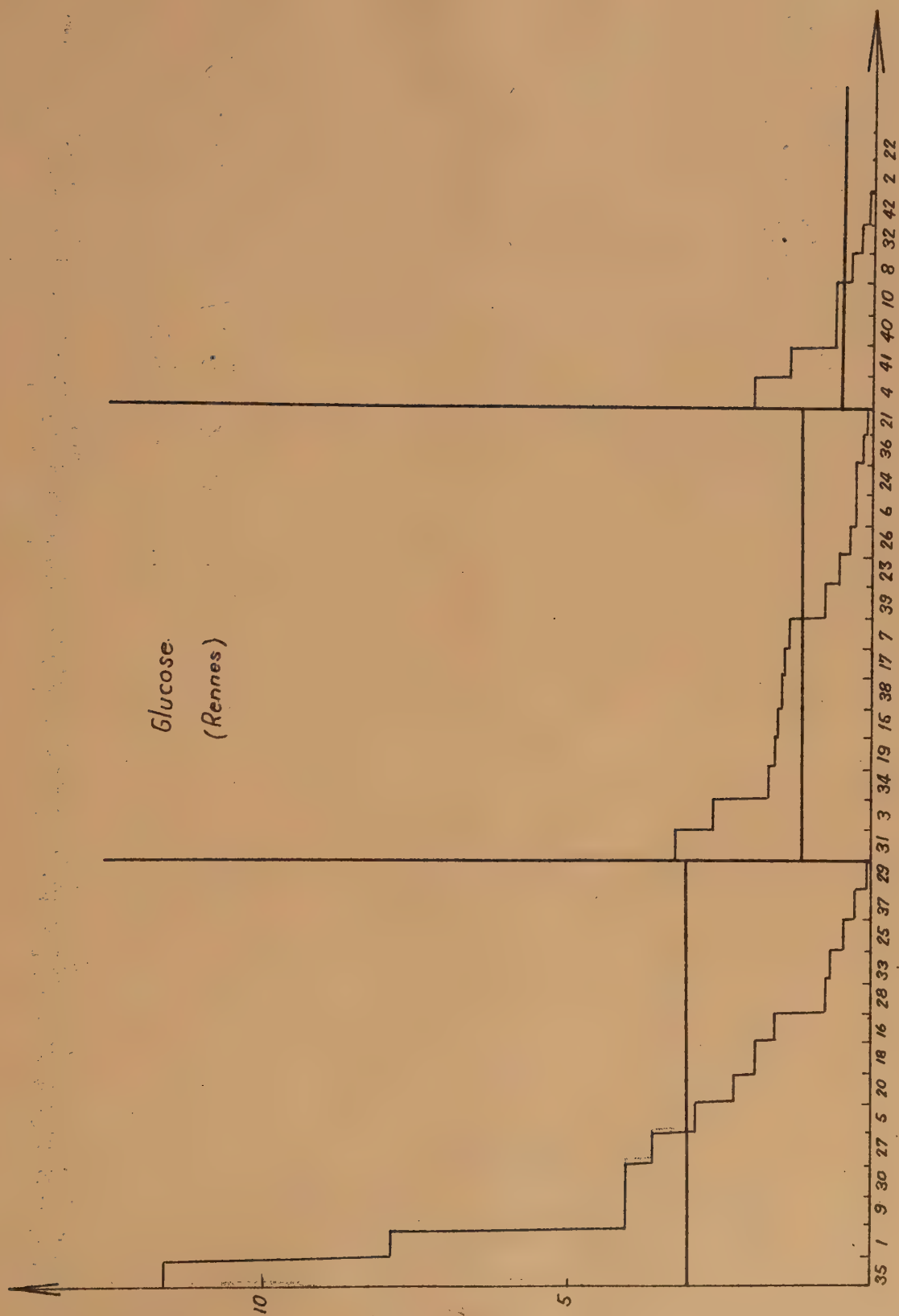
Alcool Acquis

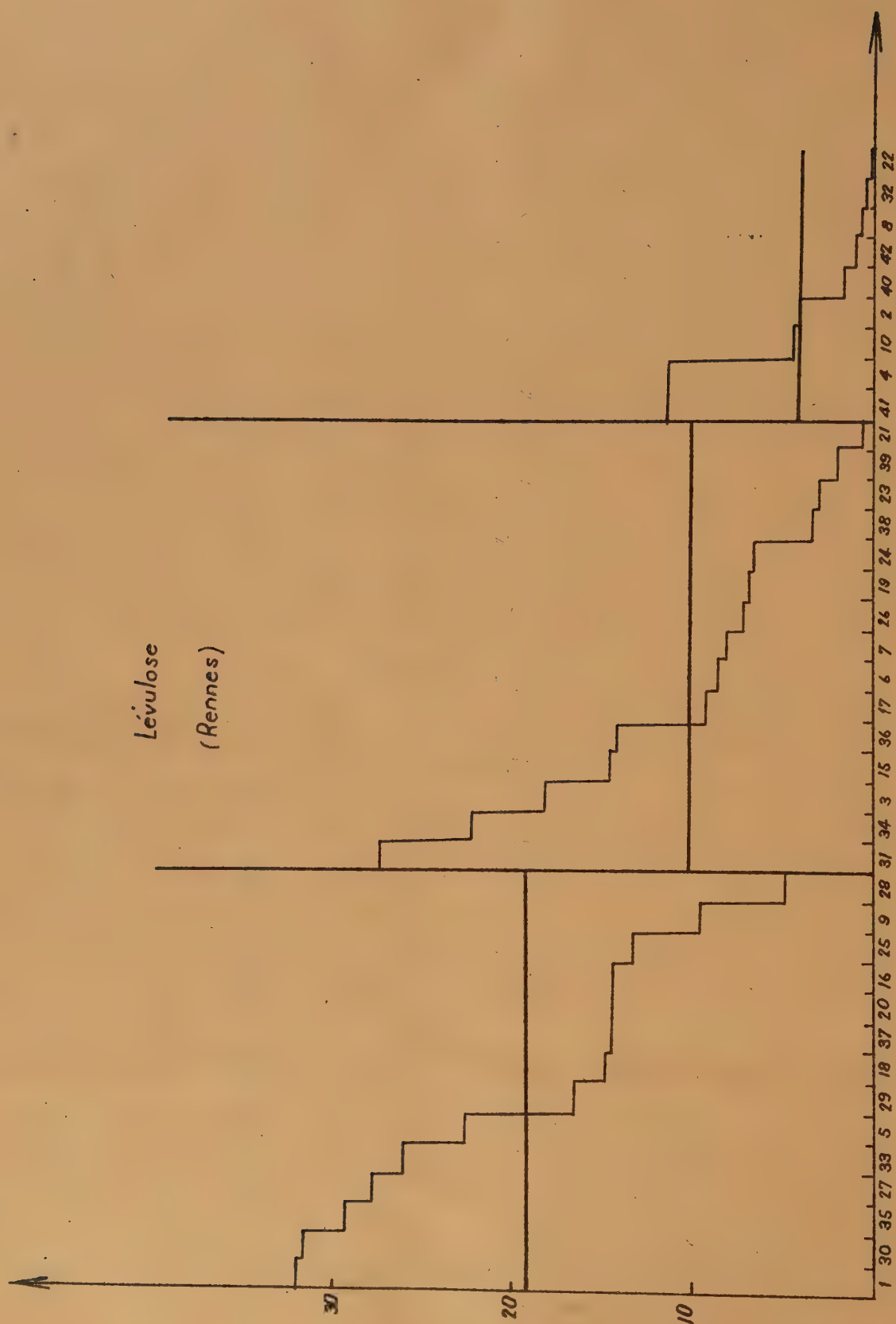
(Rennes)

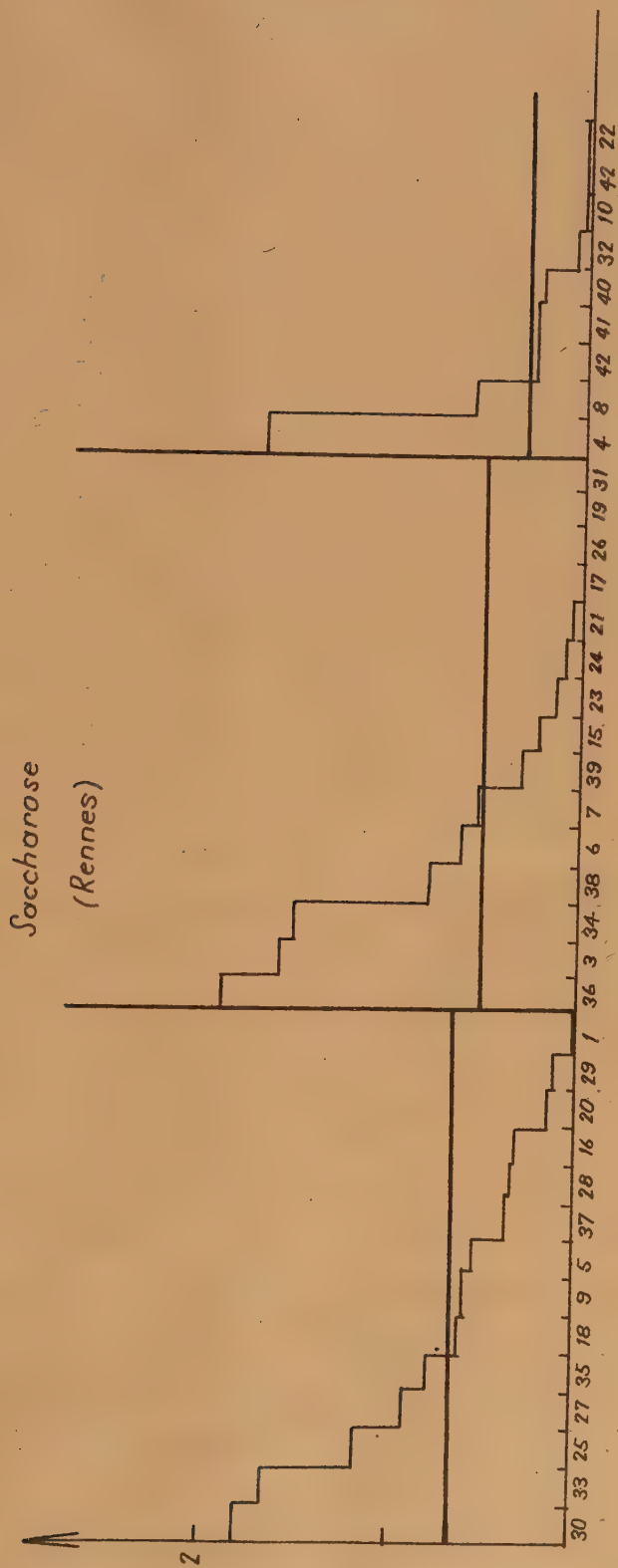




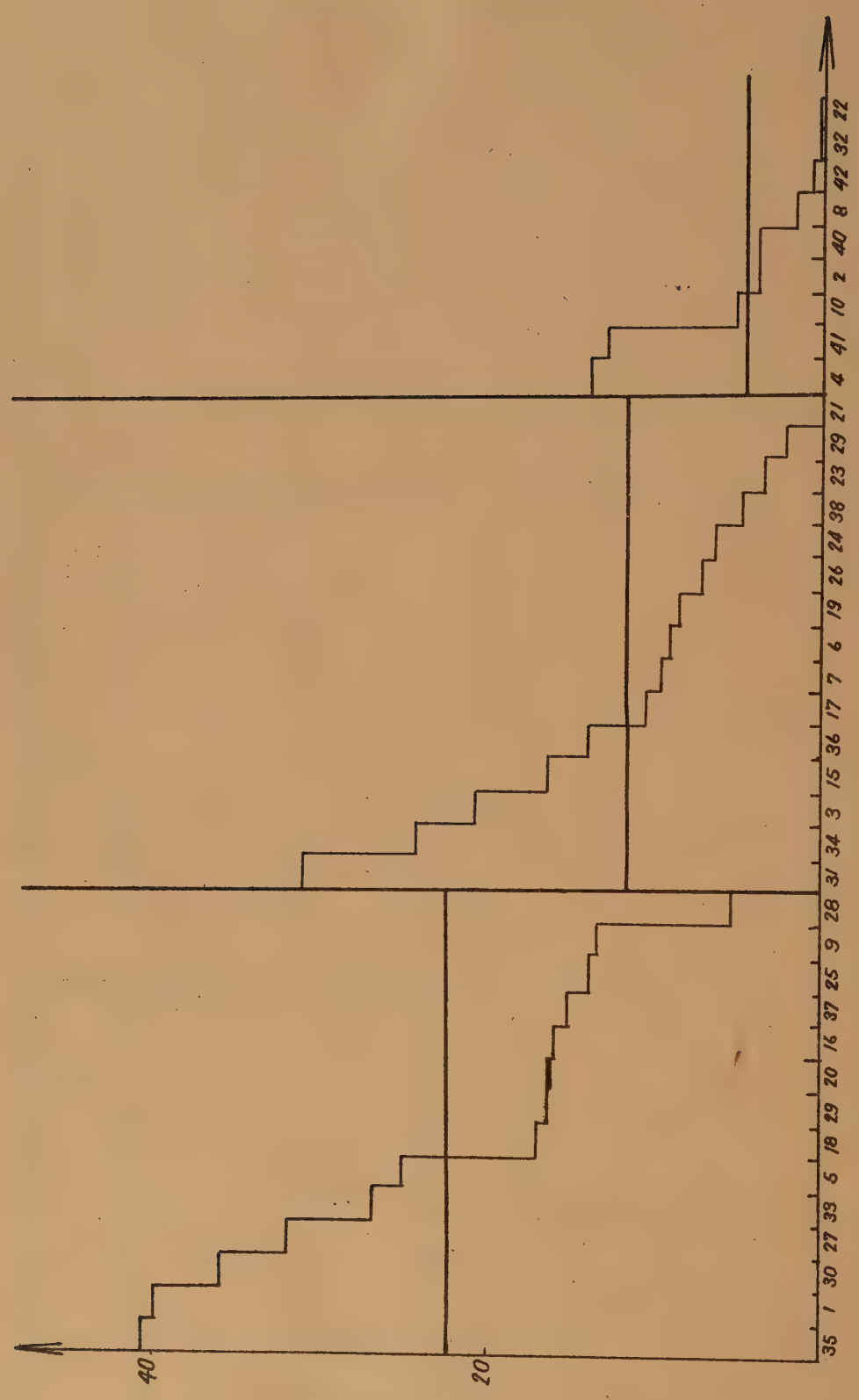




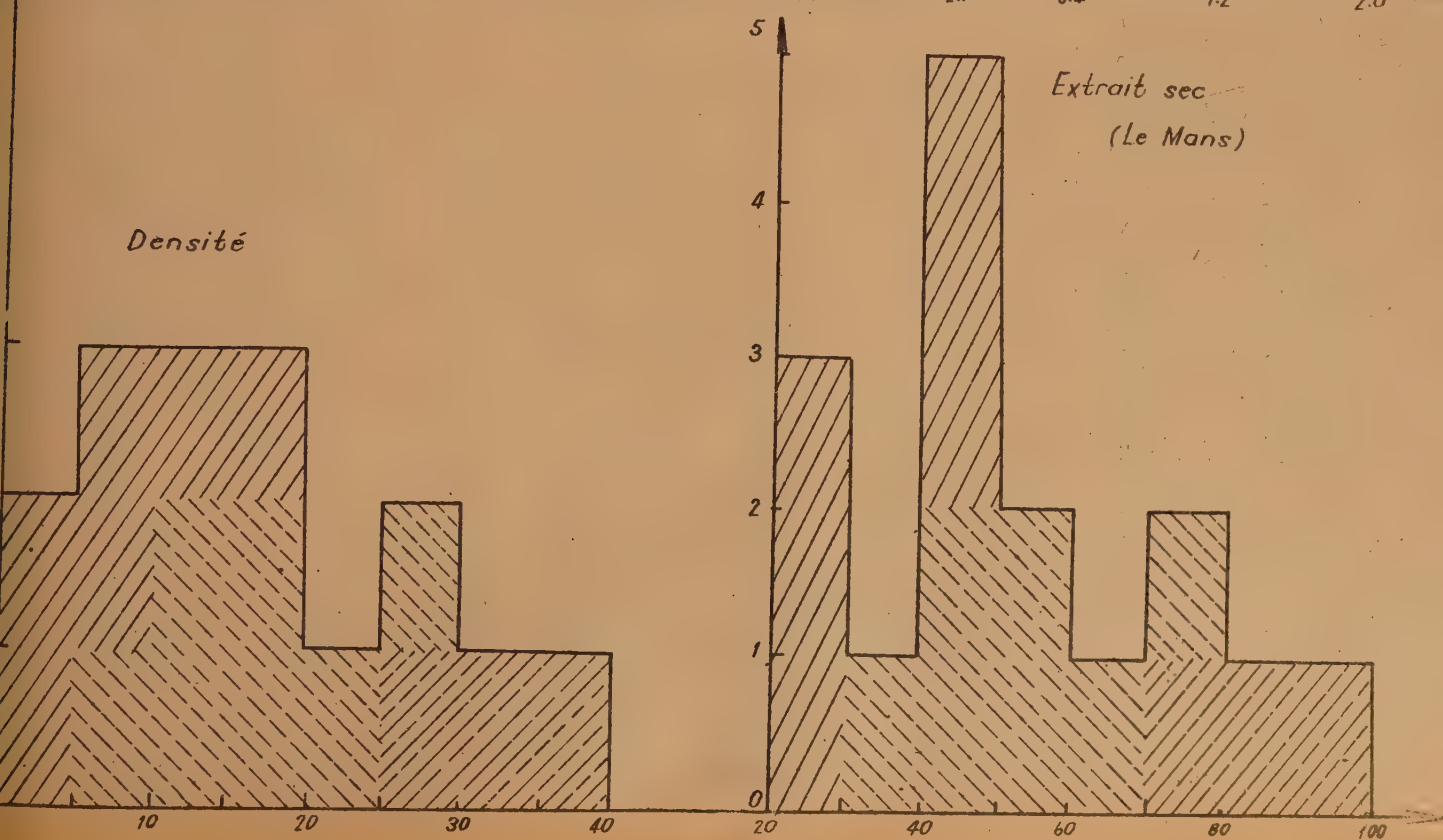
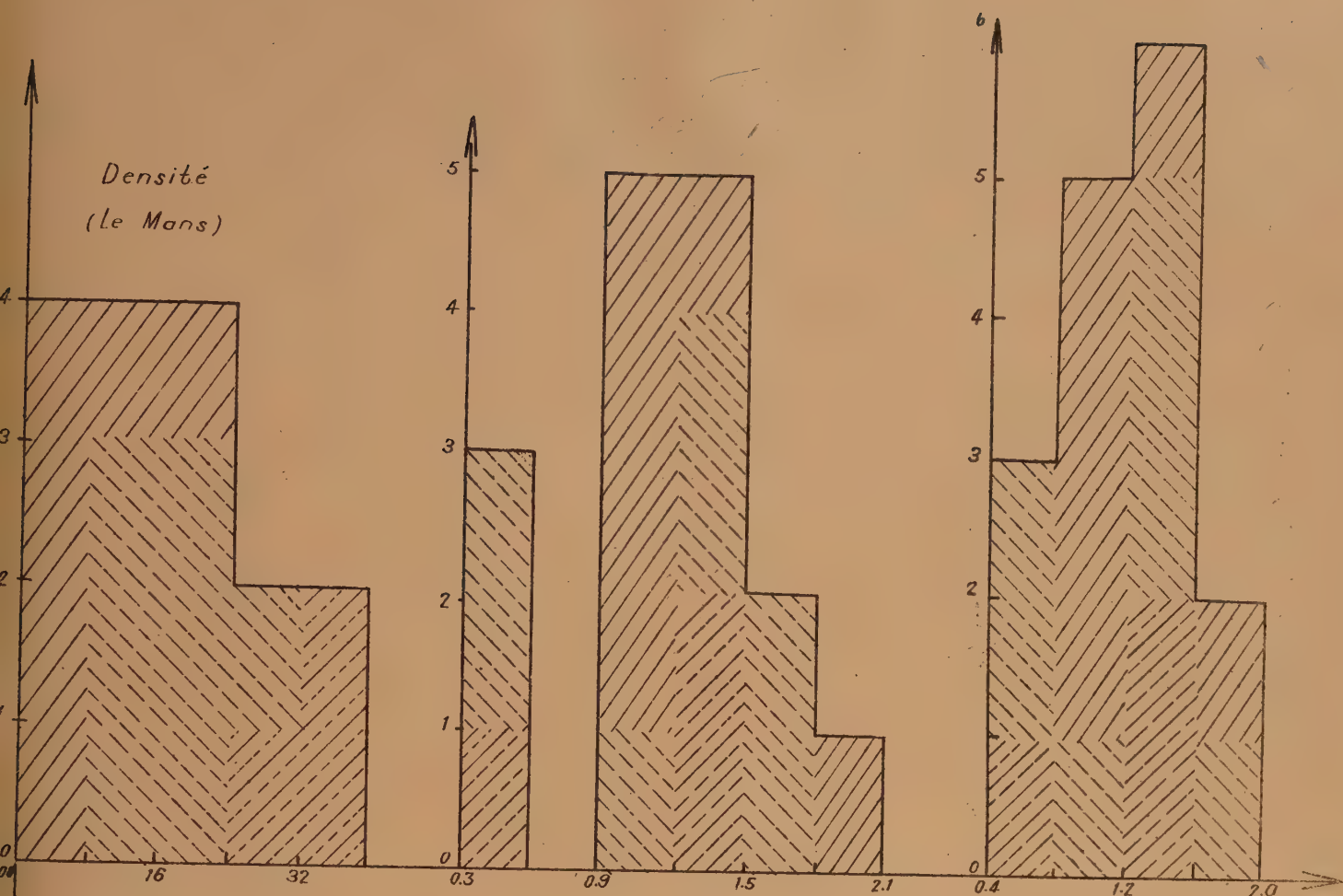


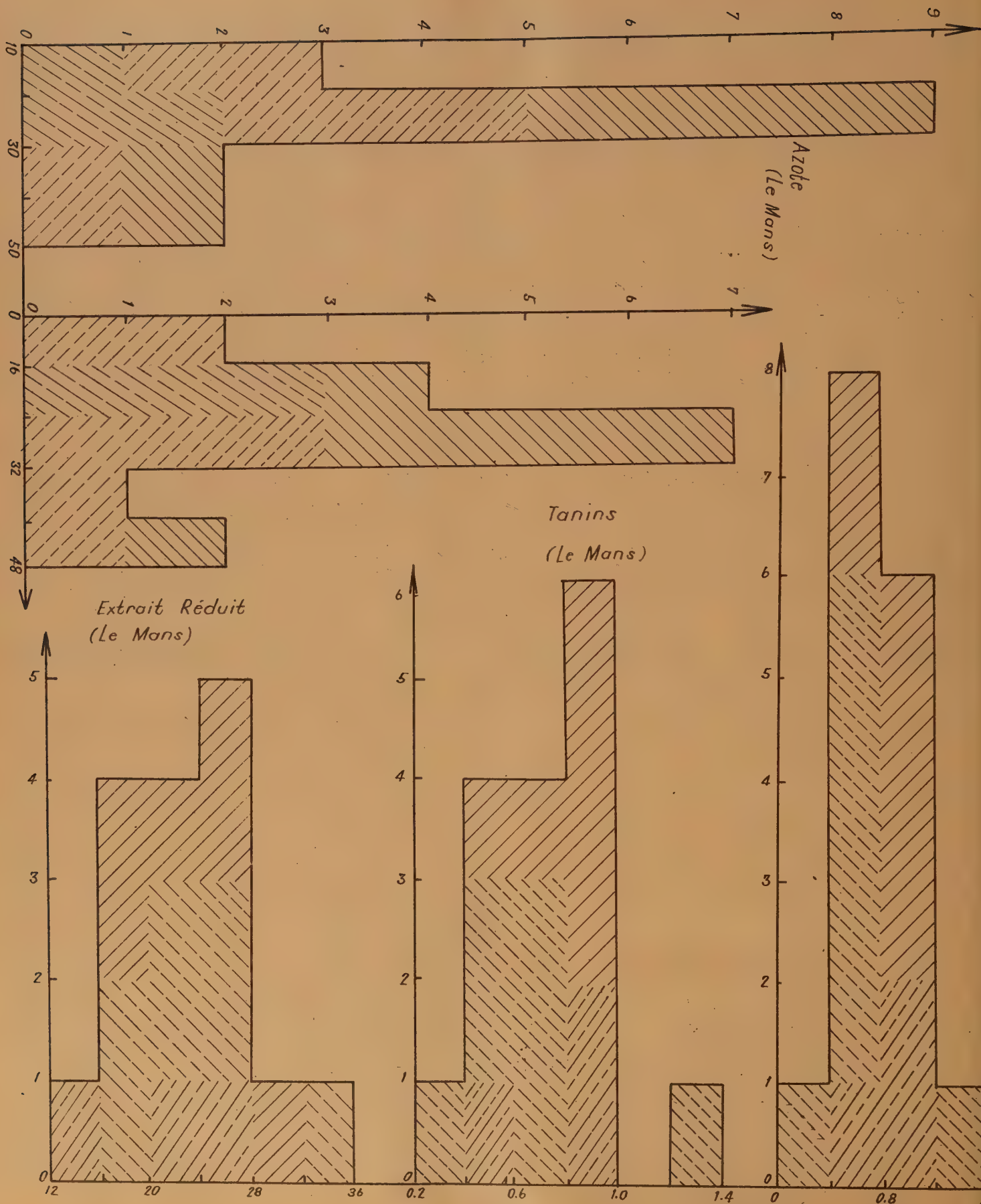


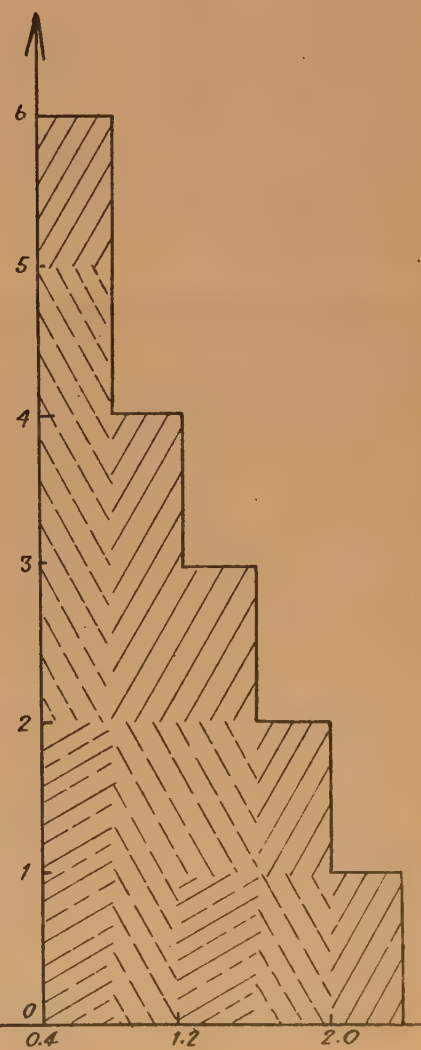
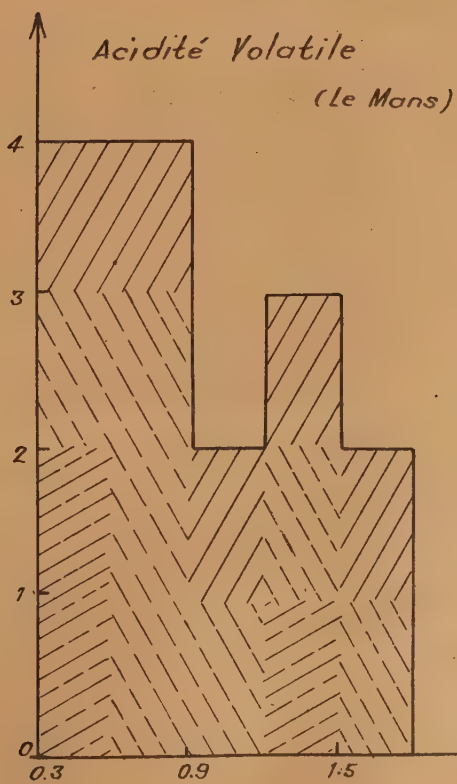
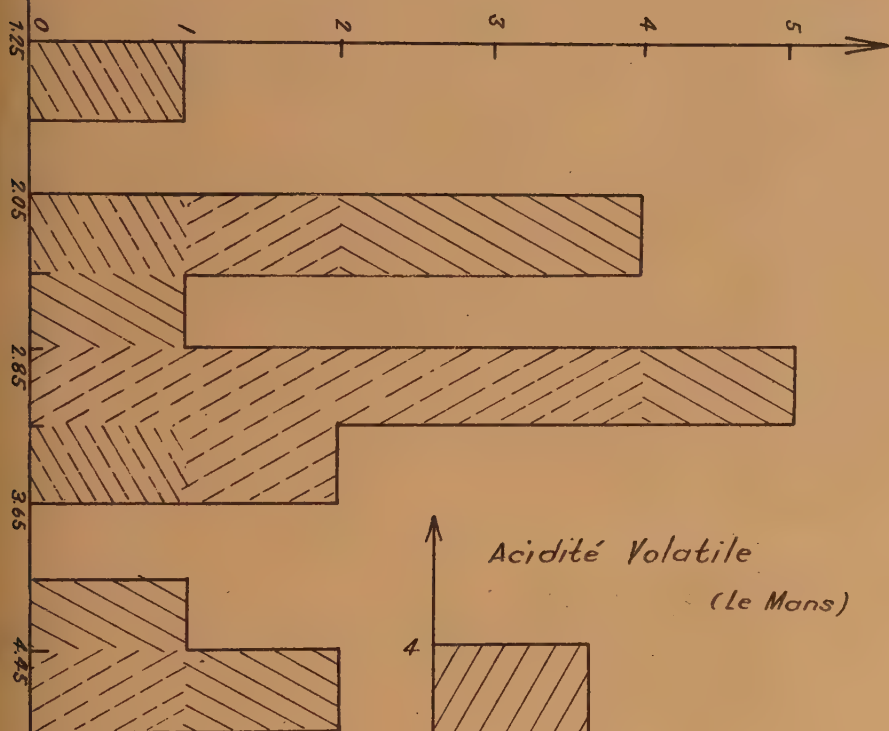
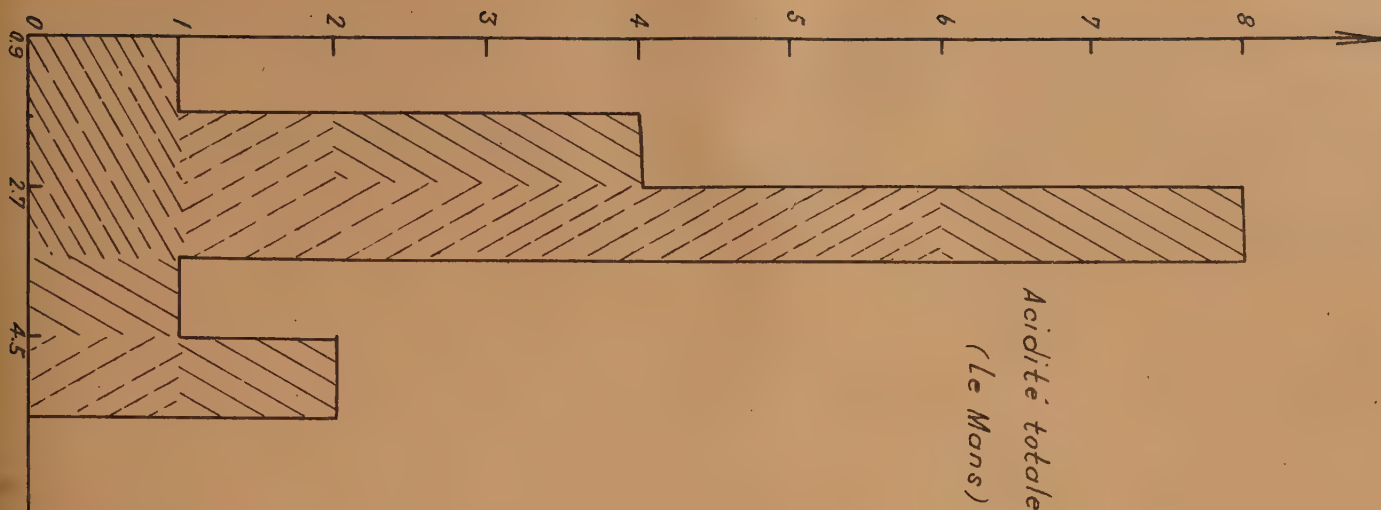
Sucres Réducteurs
(Rennes)



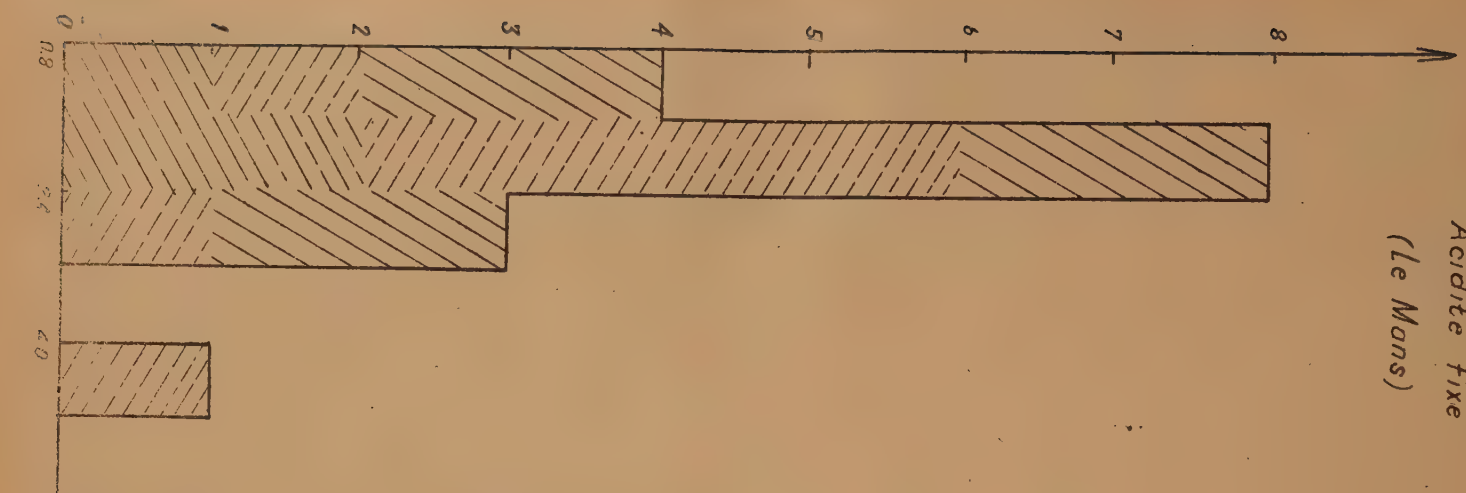
Cendres (Le Mans)



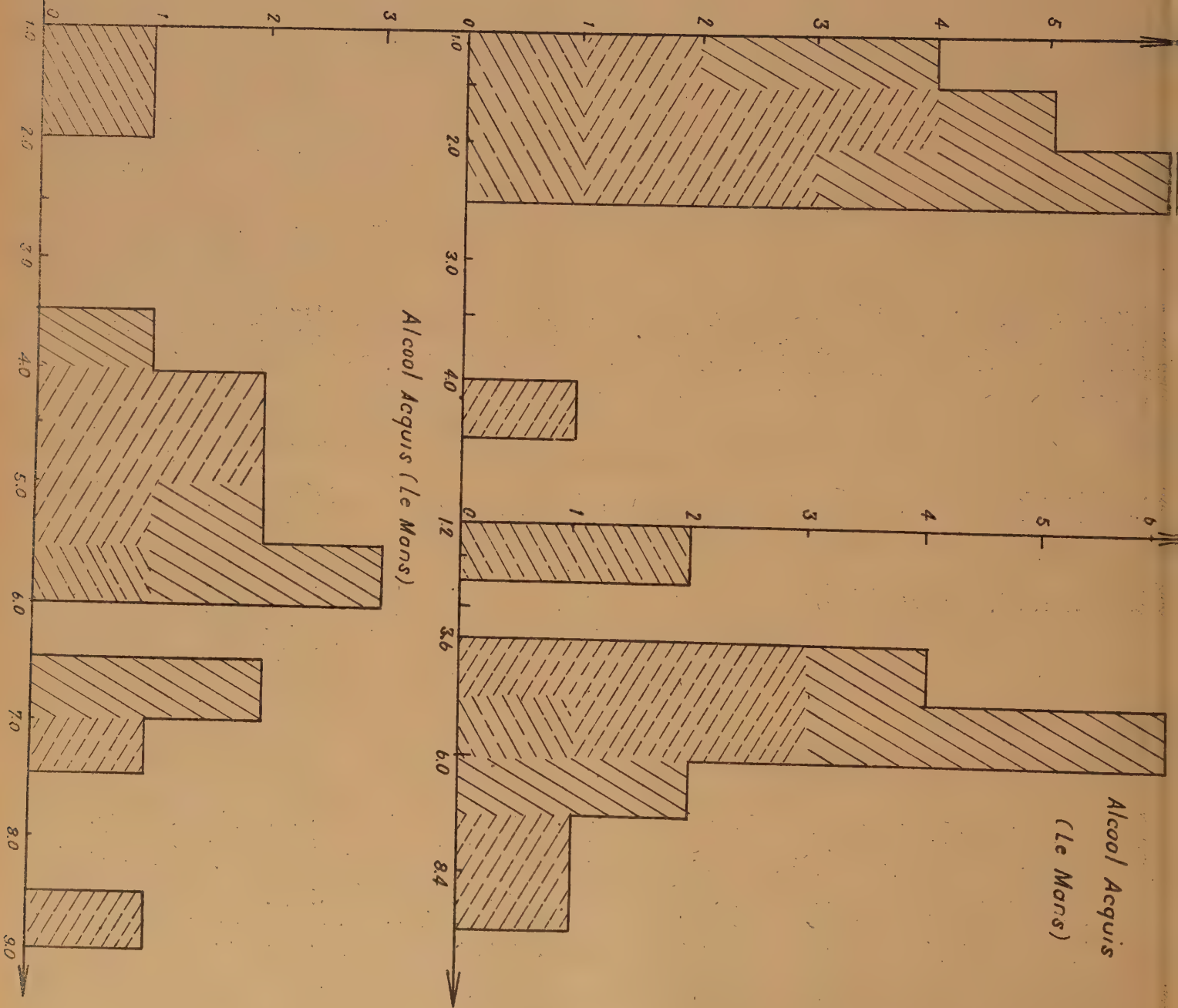




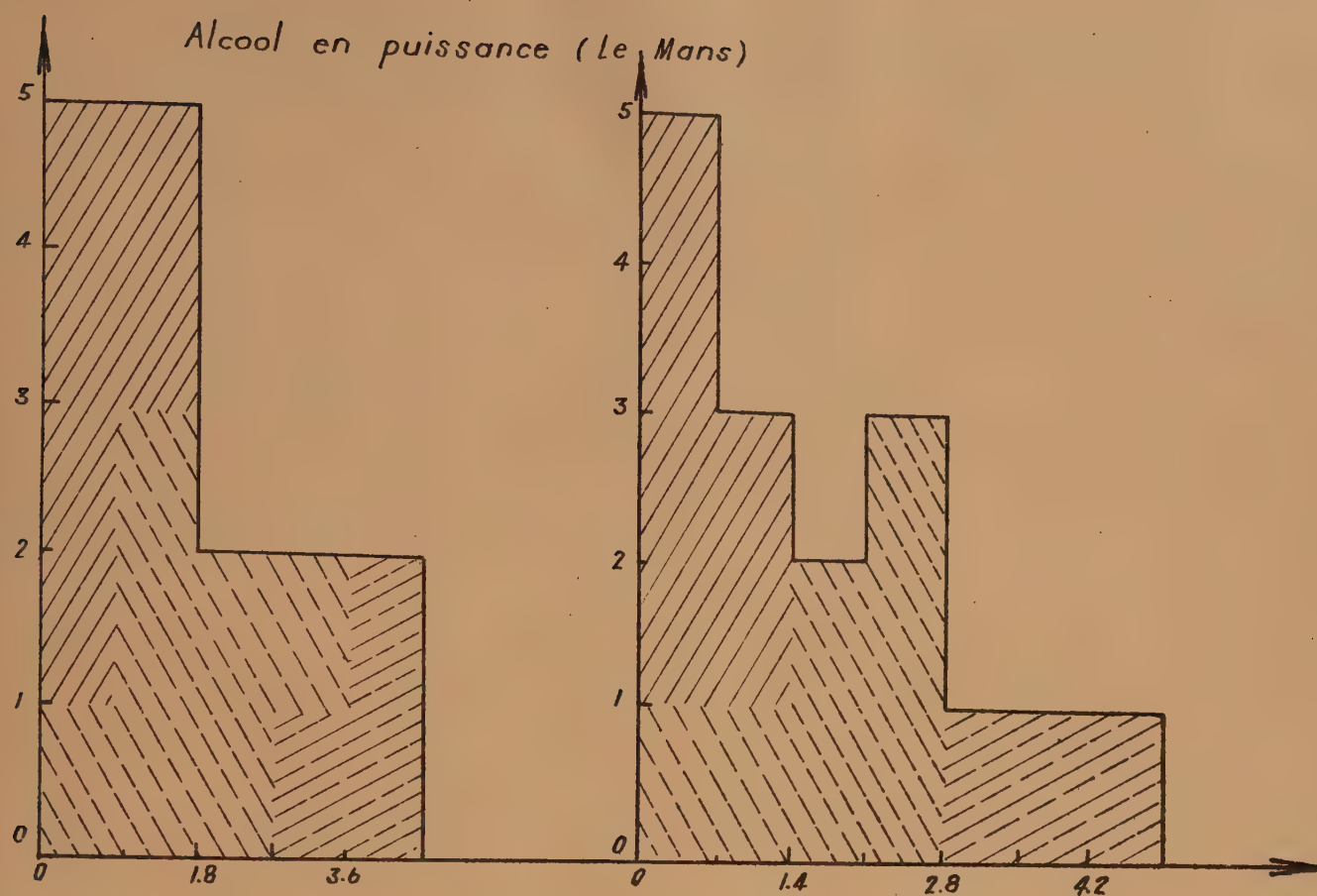
Acidité fixe
(Le Mans)



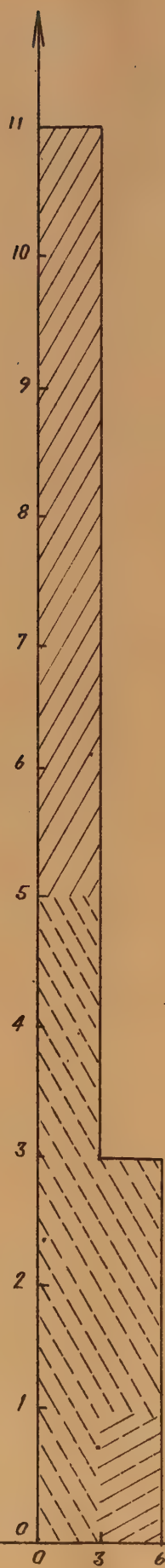
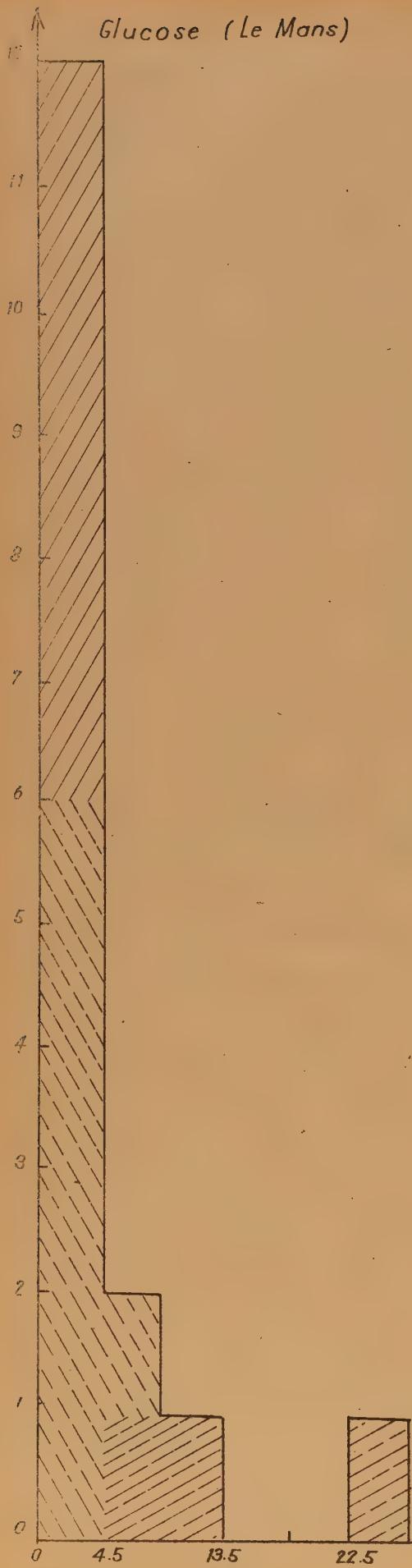
Alcool Acquis (Le Mans)



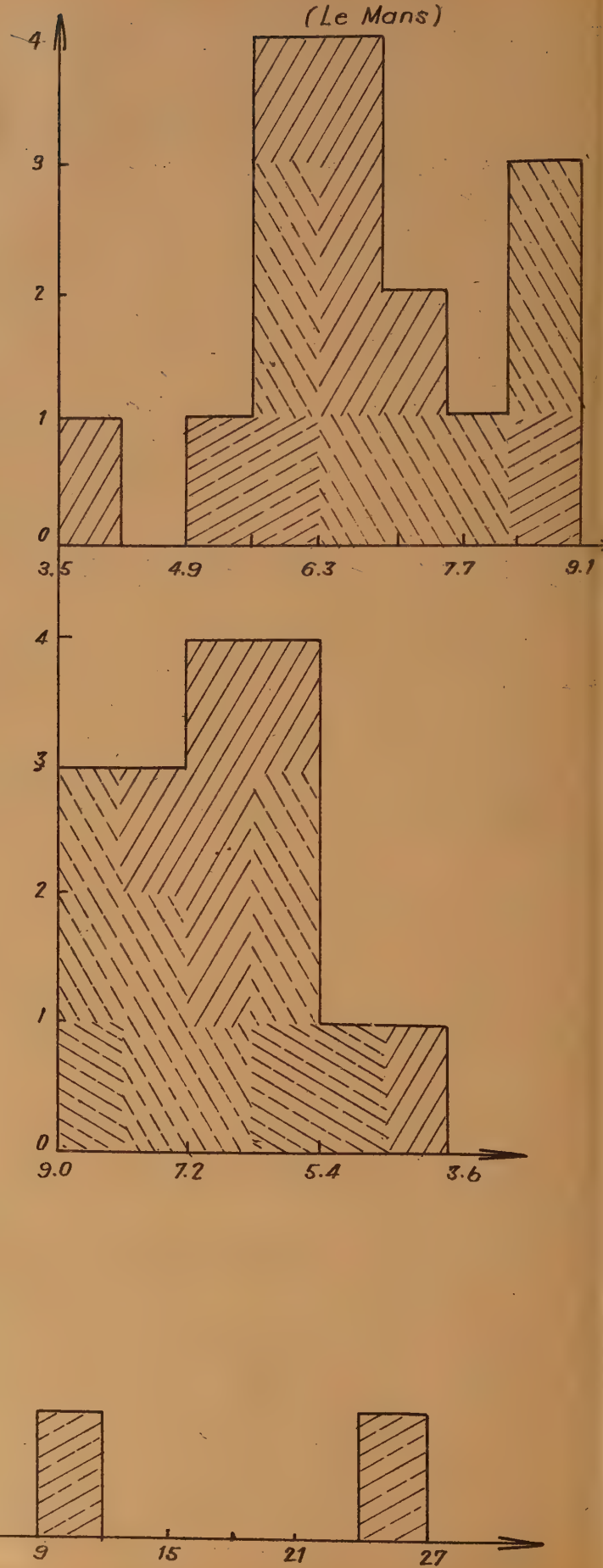
Alcool Acquis
(Le Mans)

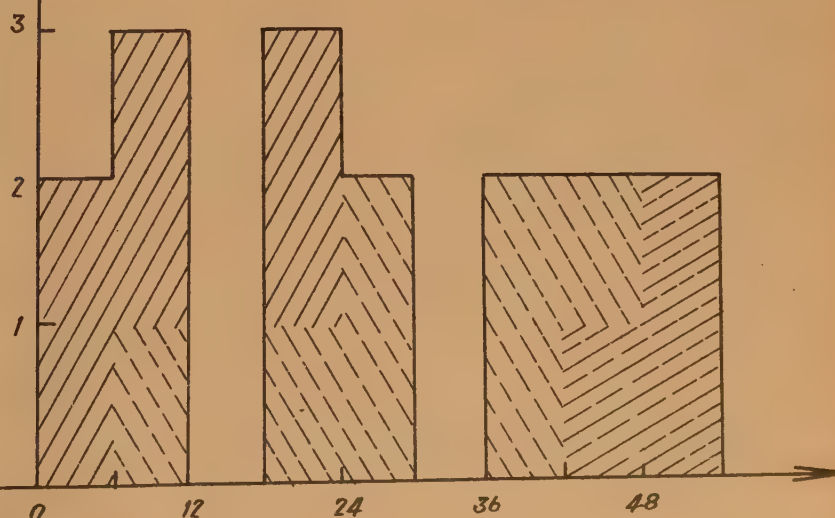
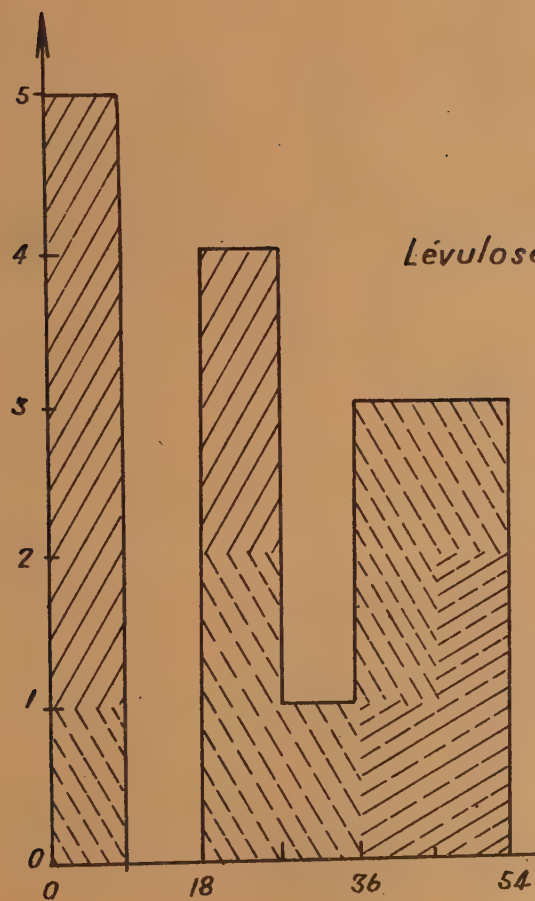
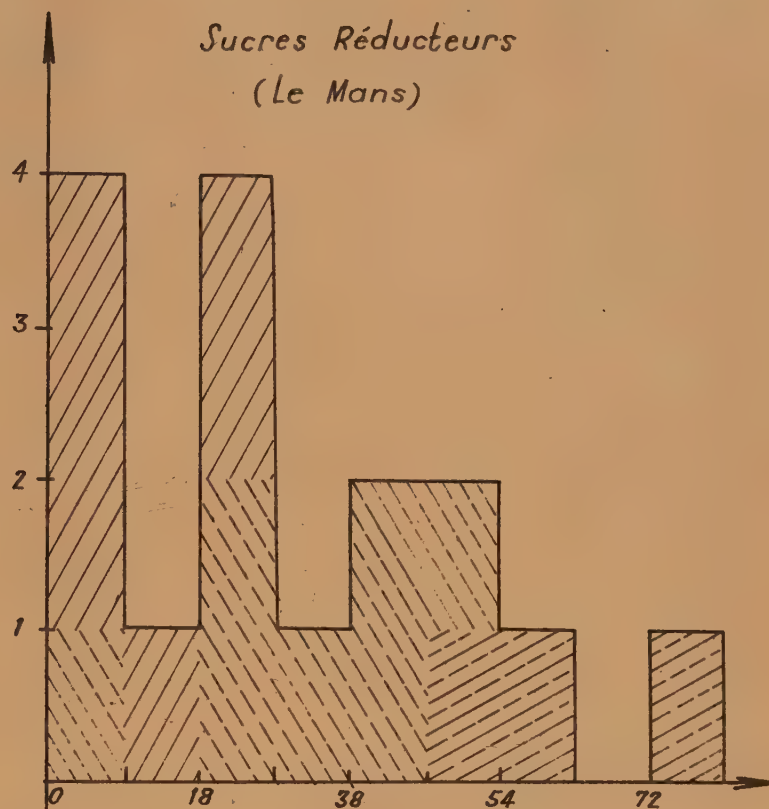
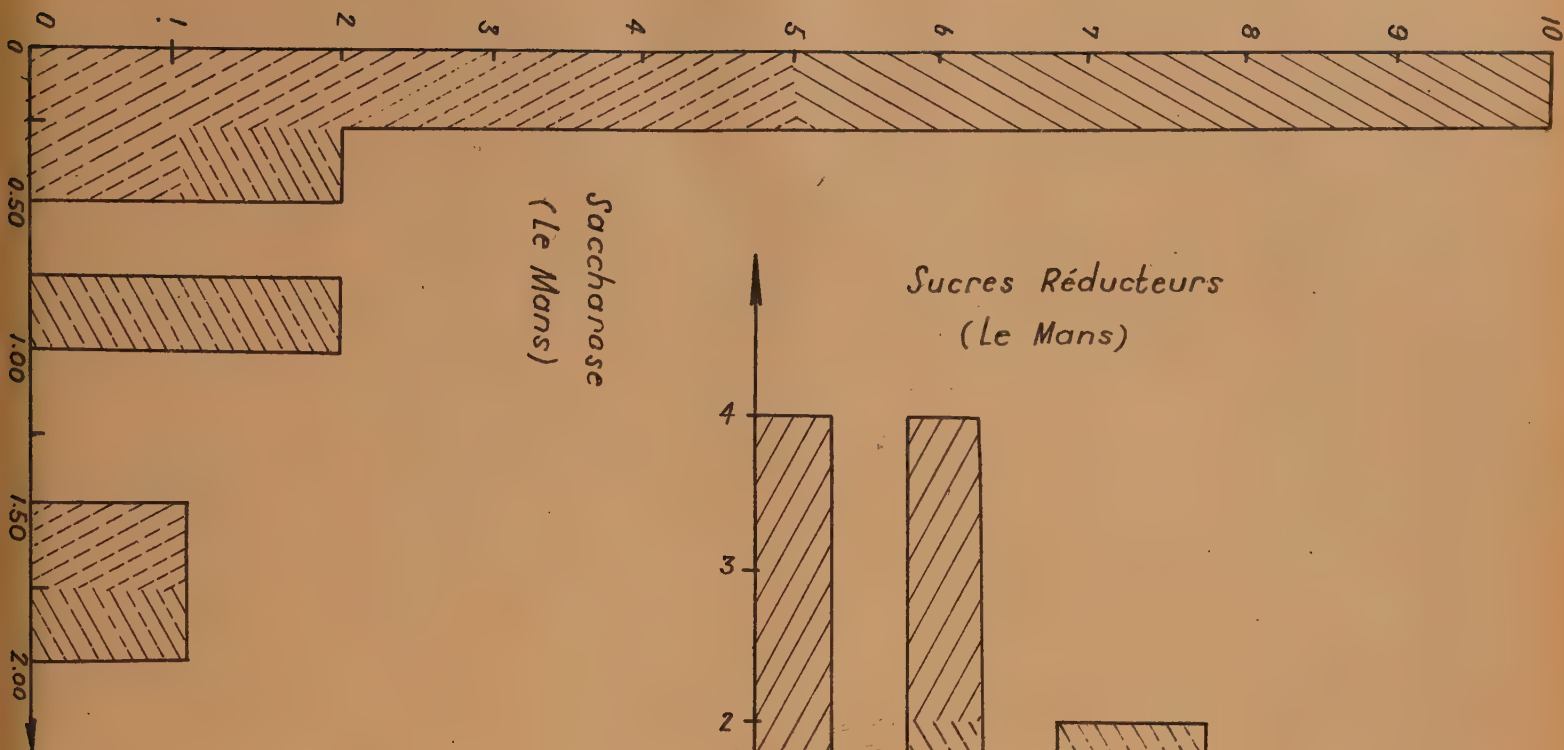


Glucose (Le Mans)

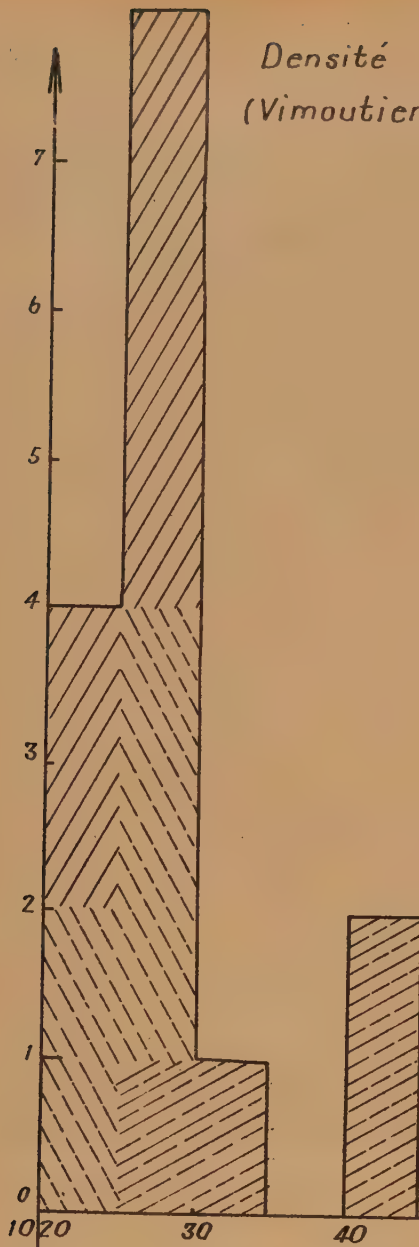


Alcool Total (Le Mans)

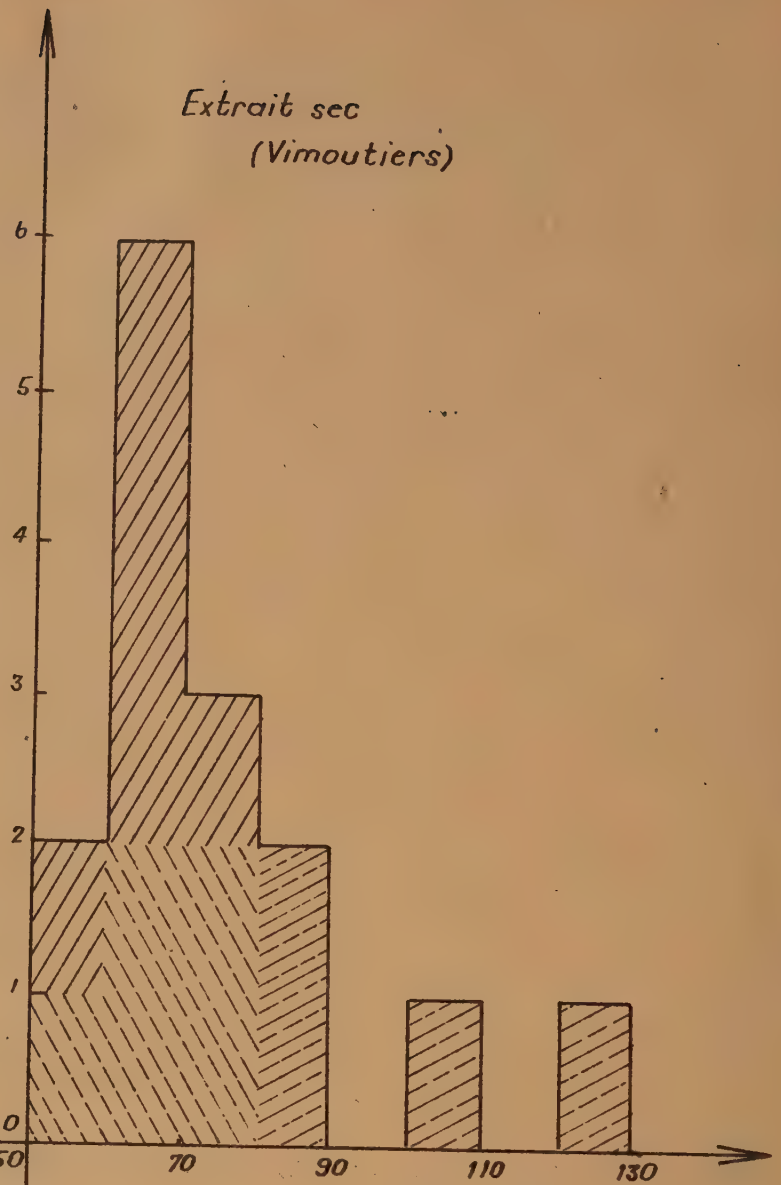




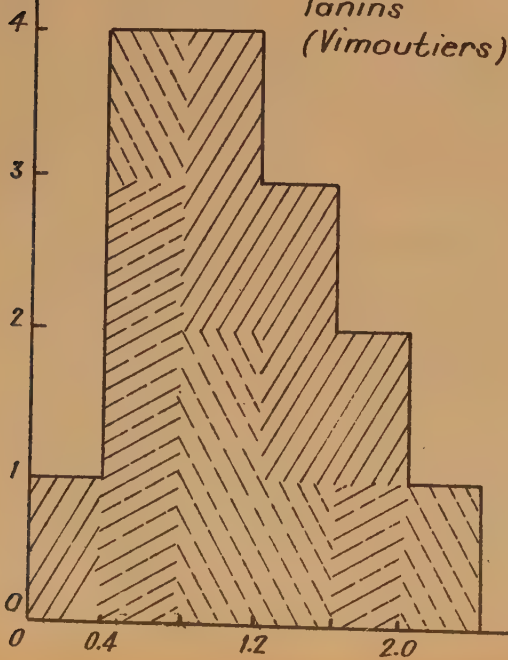
*Densité
(Vimoutiers)*



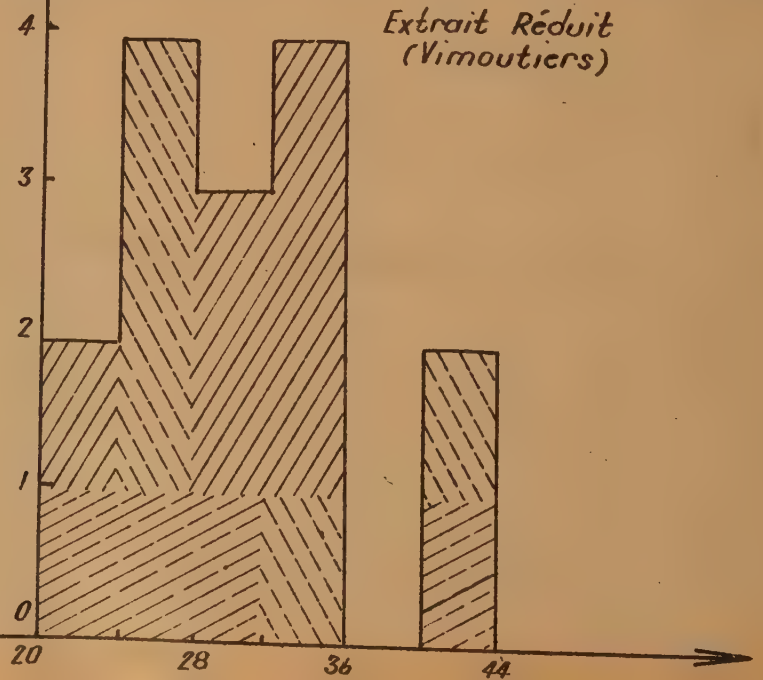
*Extrait sec
(Vimoutiers)*

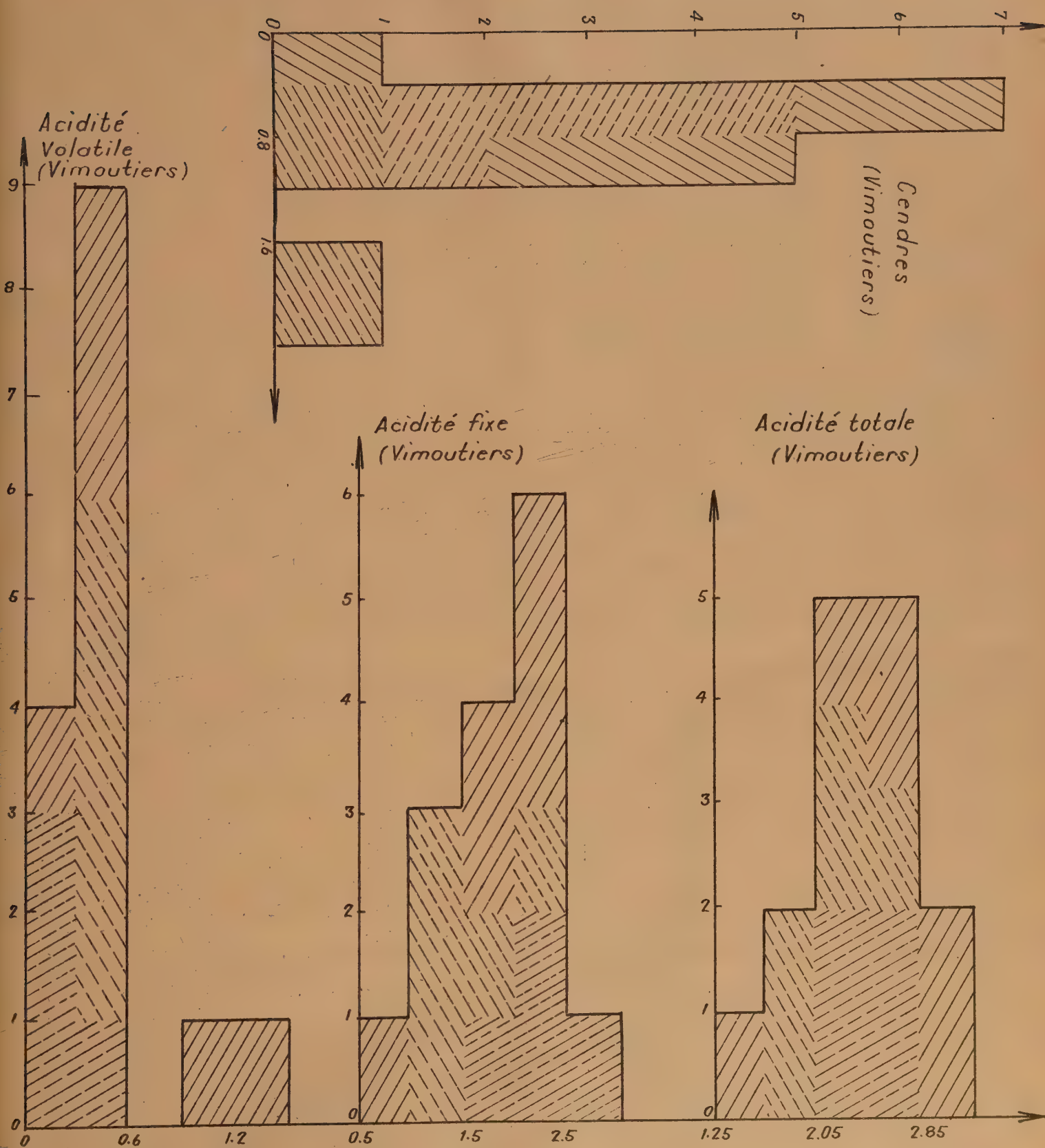


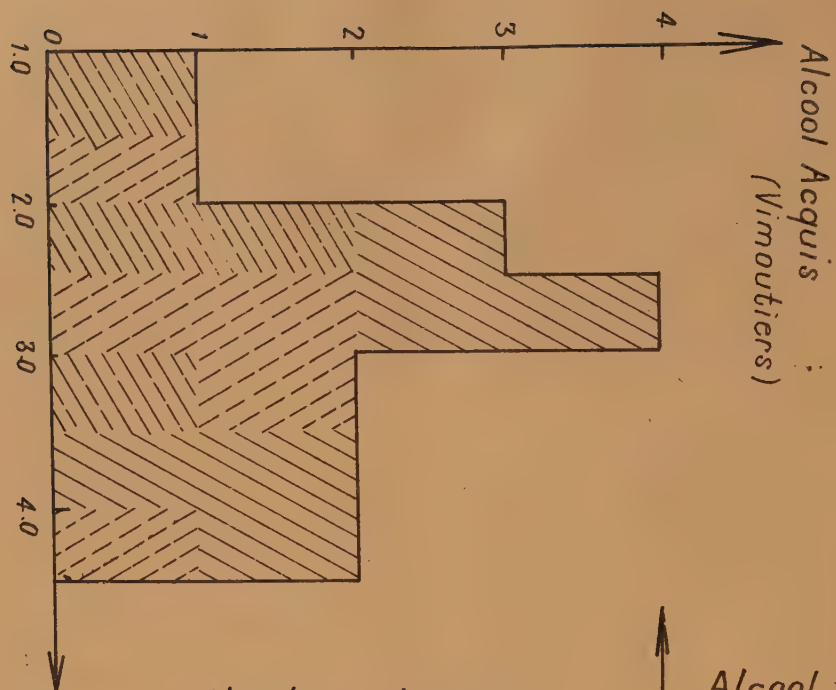
*Tanins
(Vimoutiers)*



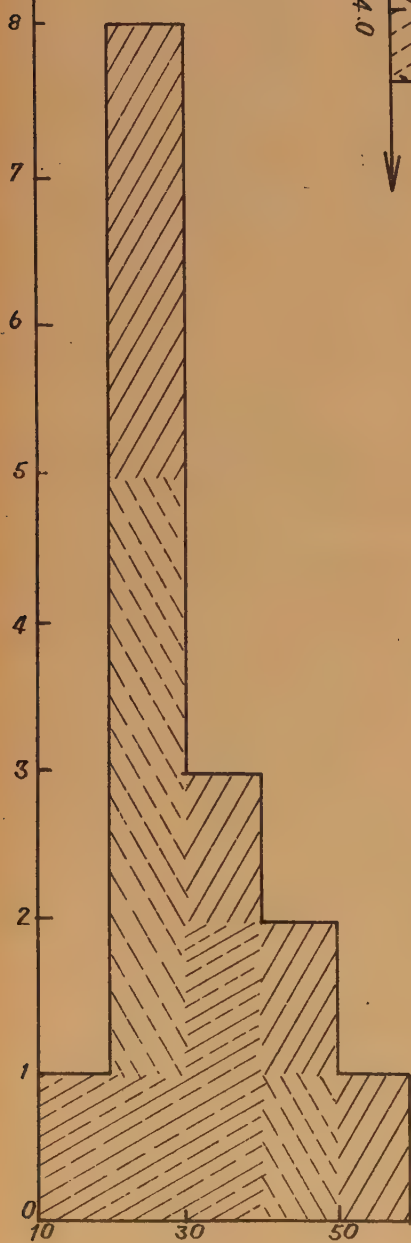
*Extrait Réduit
(Vimoutiers)*



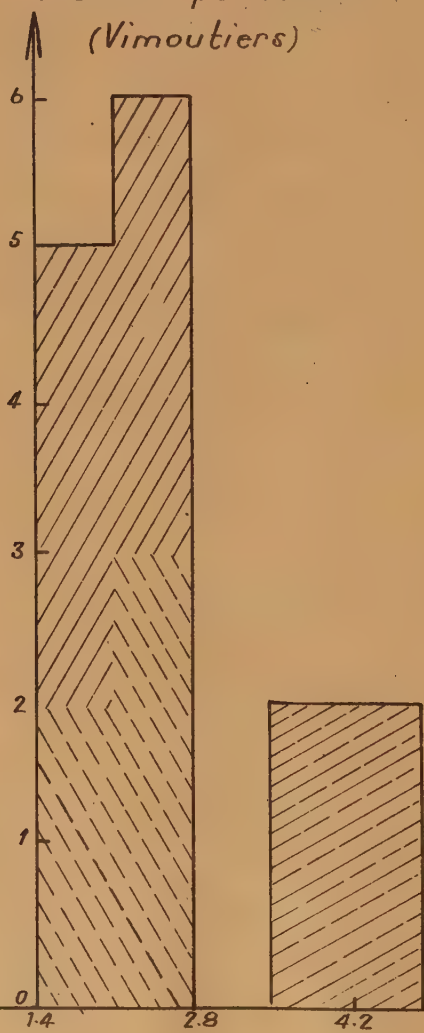




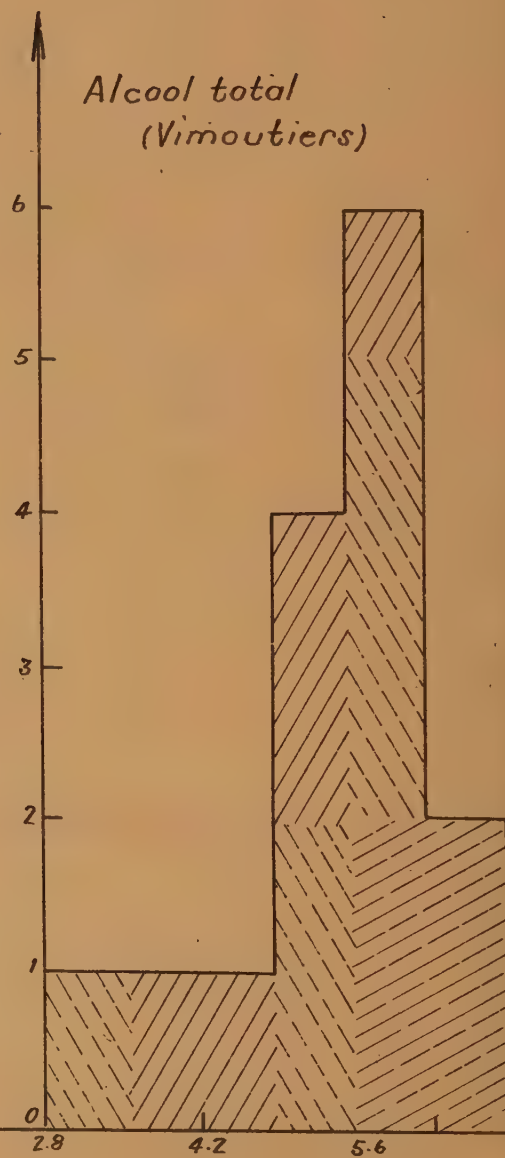
Azote
(Vimoutiers)

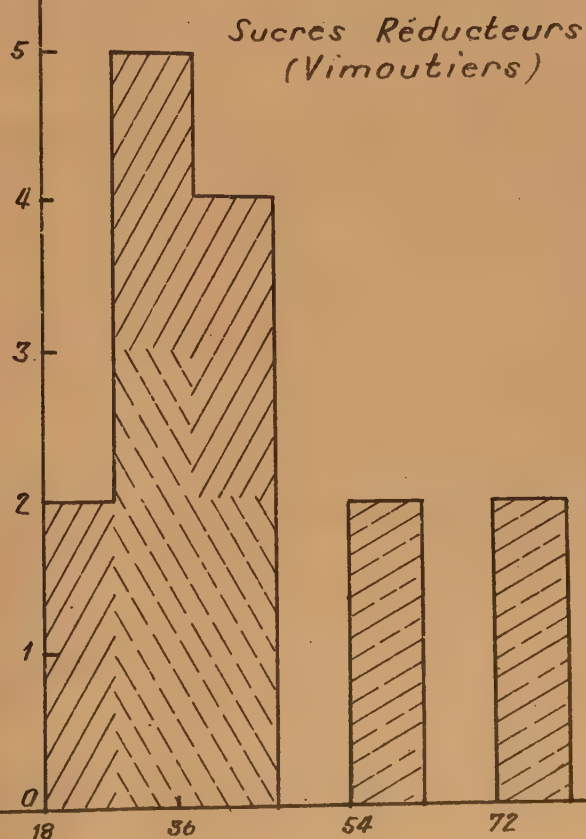
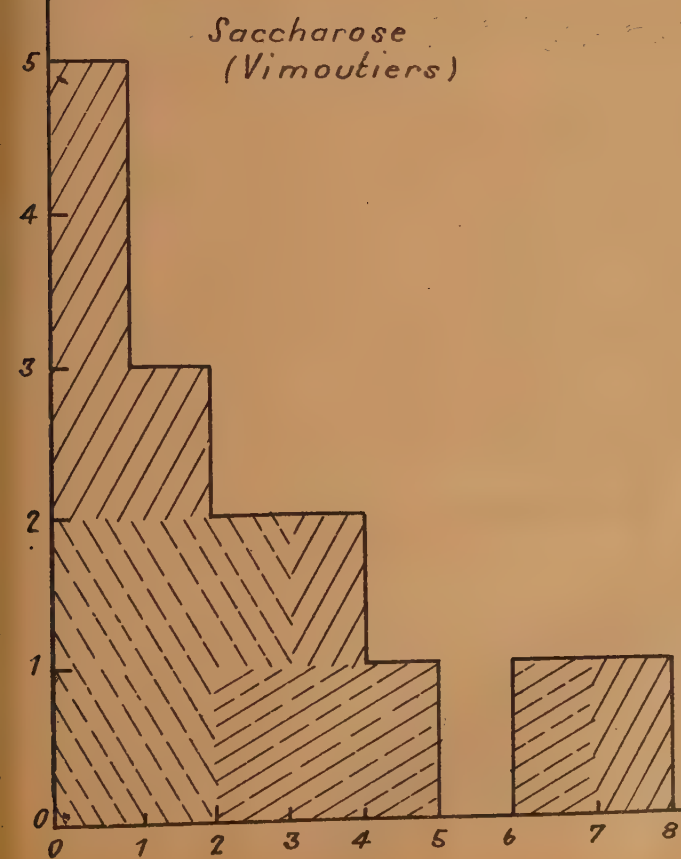
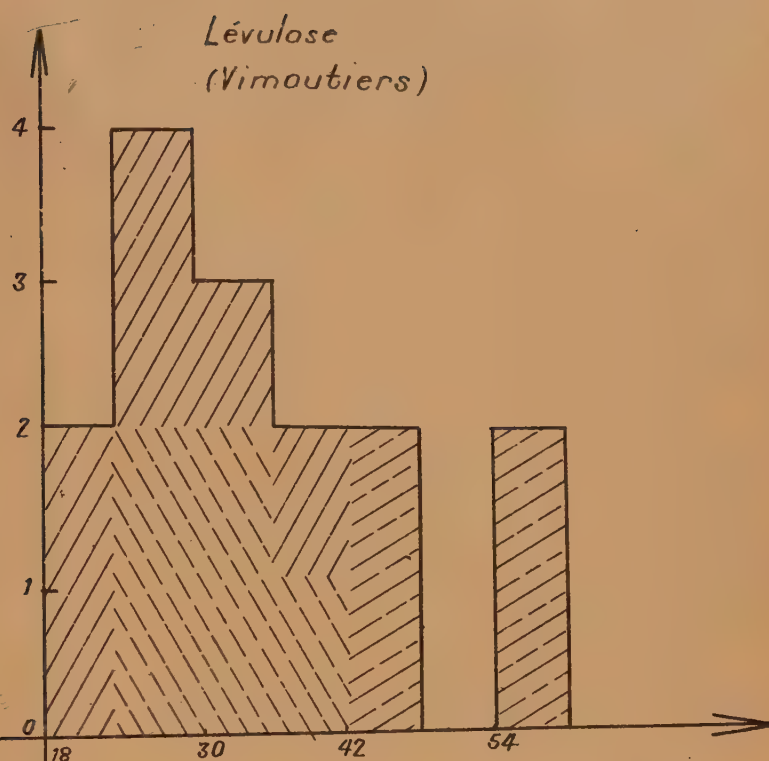
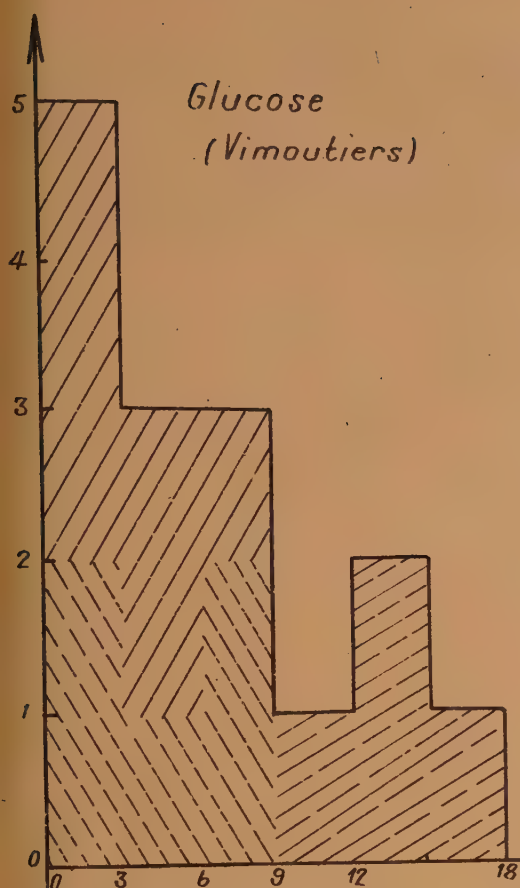


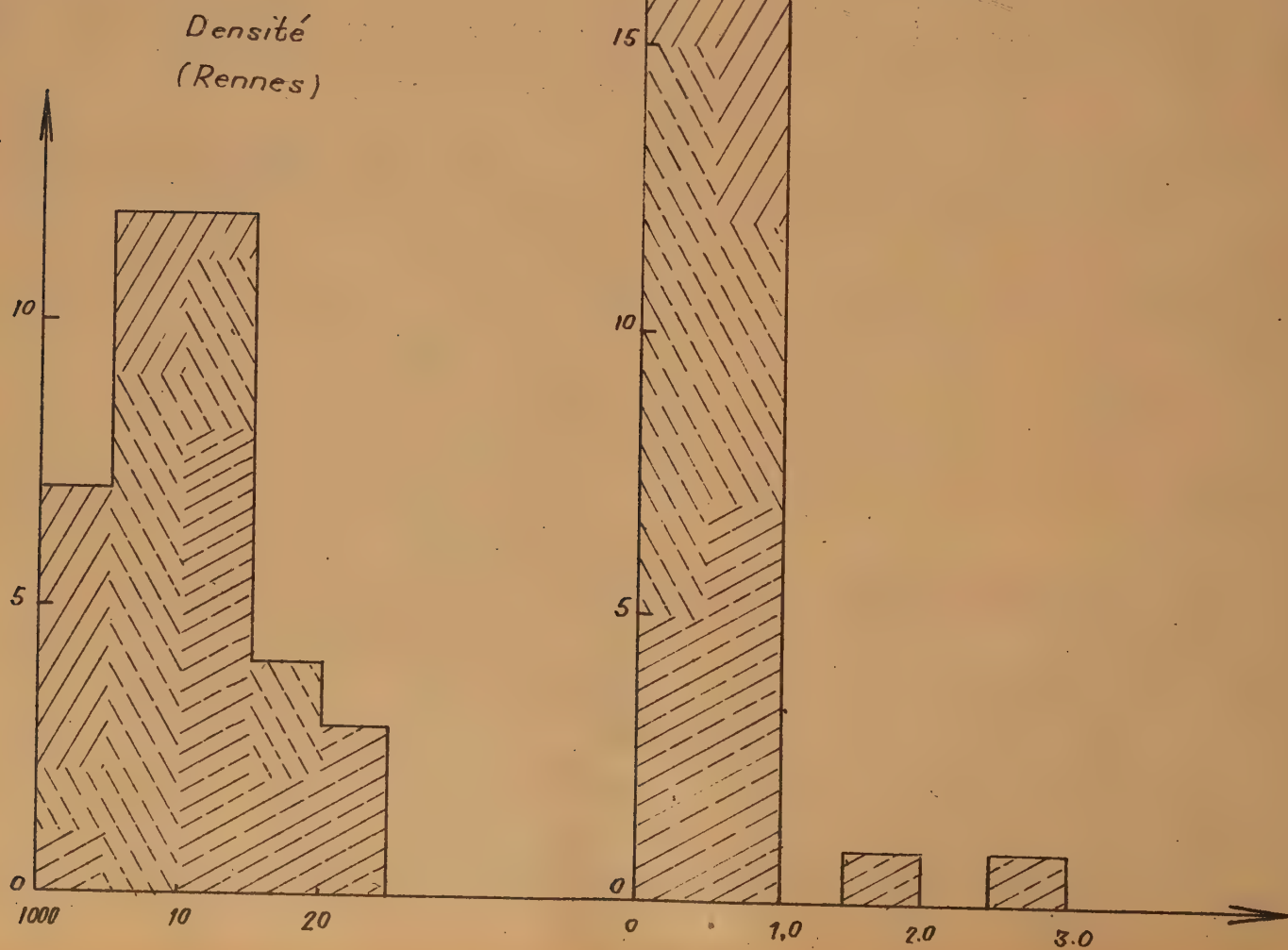
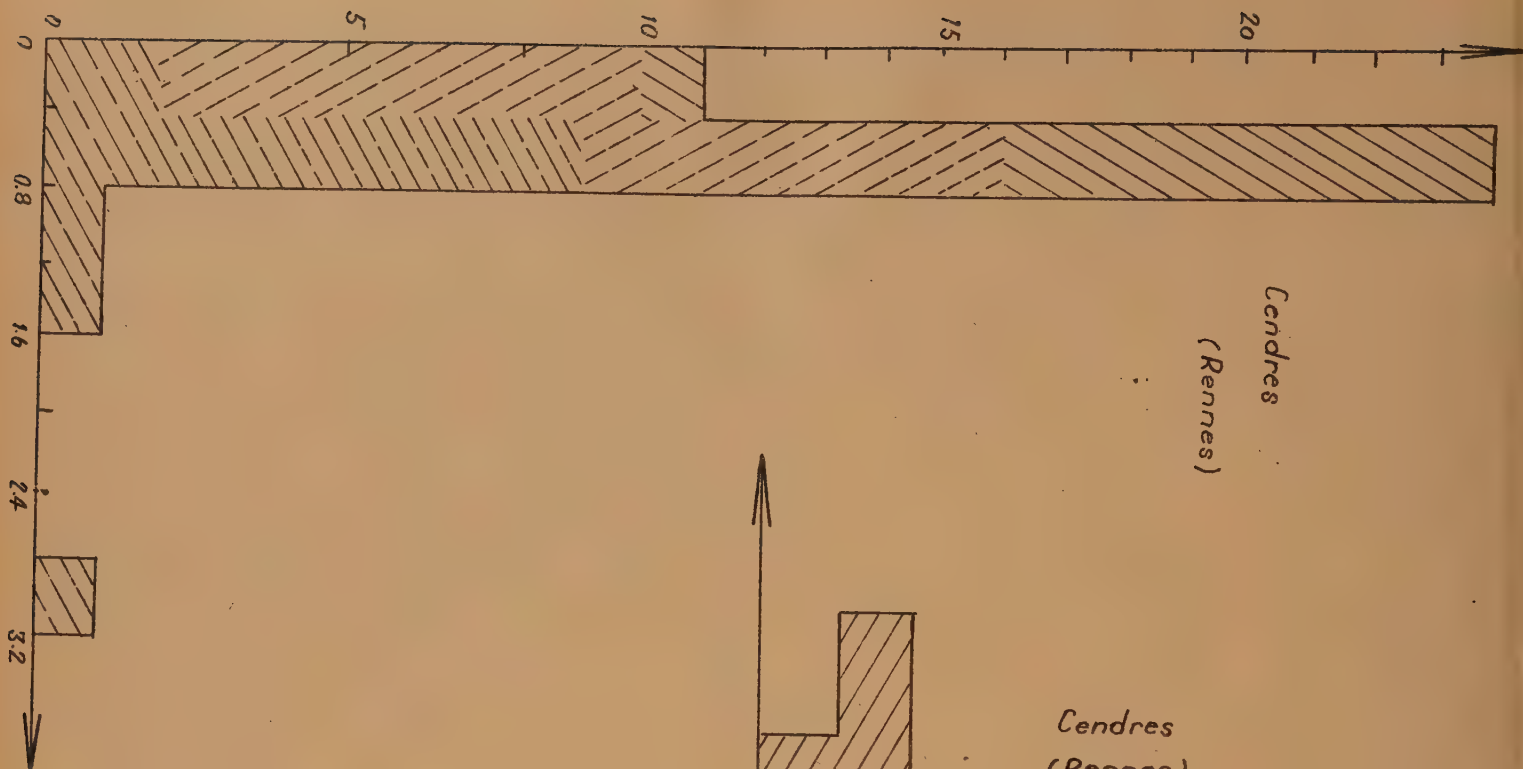
Alcool en puissance
(Vimoutiers)



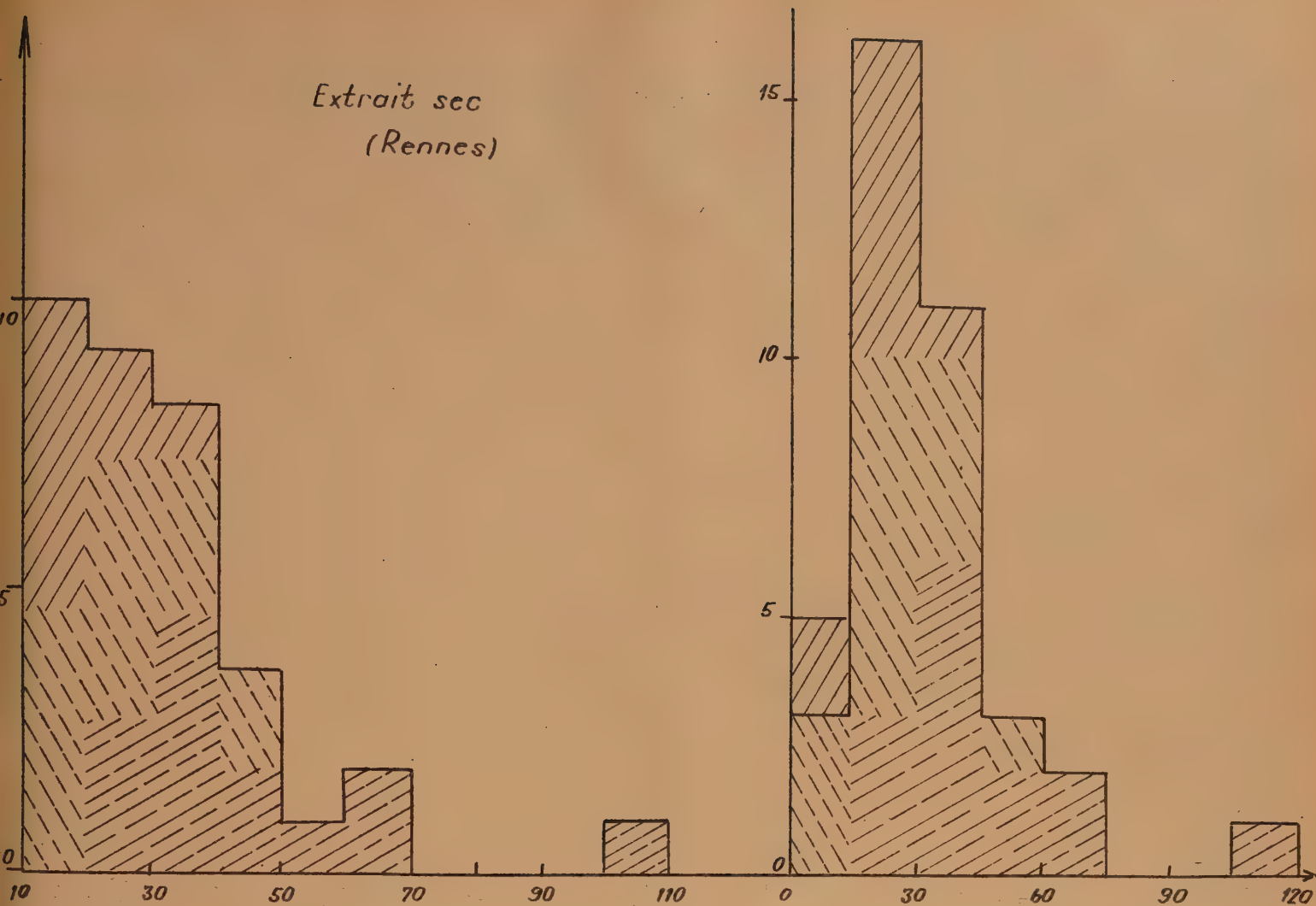
Alcool total
(Vimoutiers)



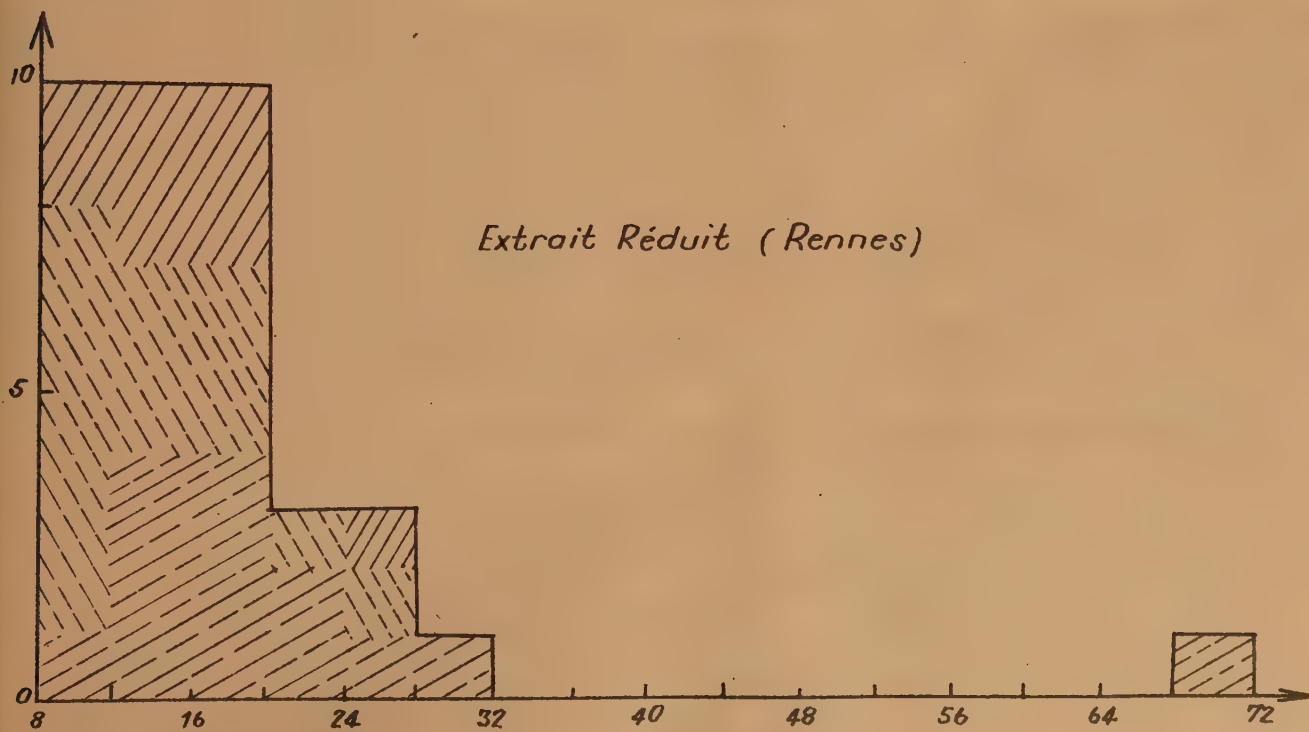




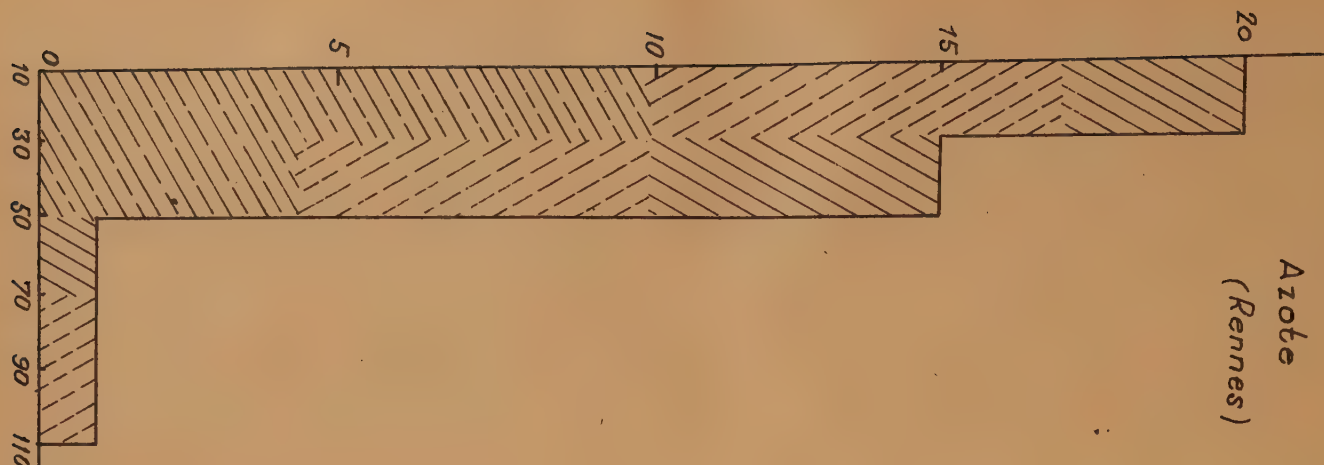
*Extrait sec
(Rennes)*



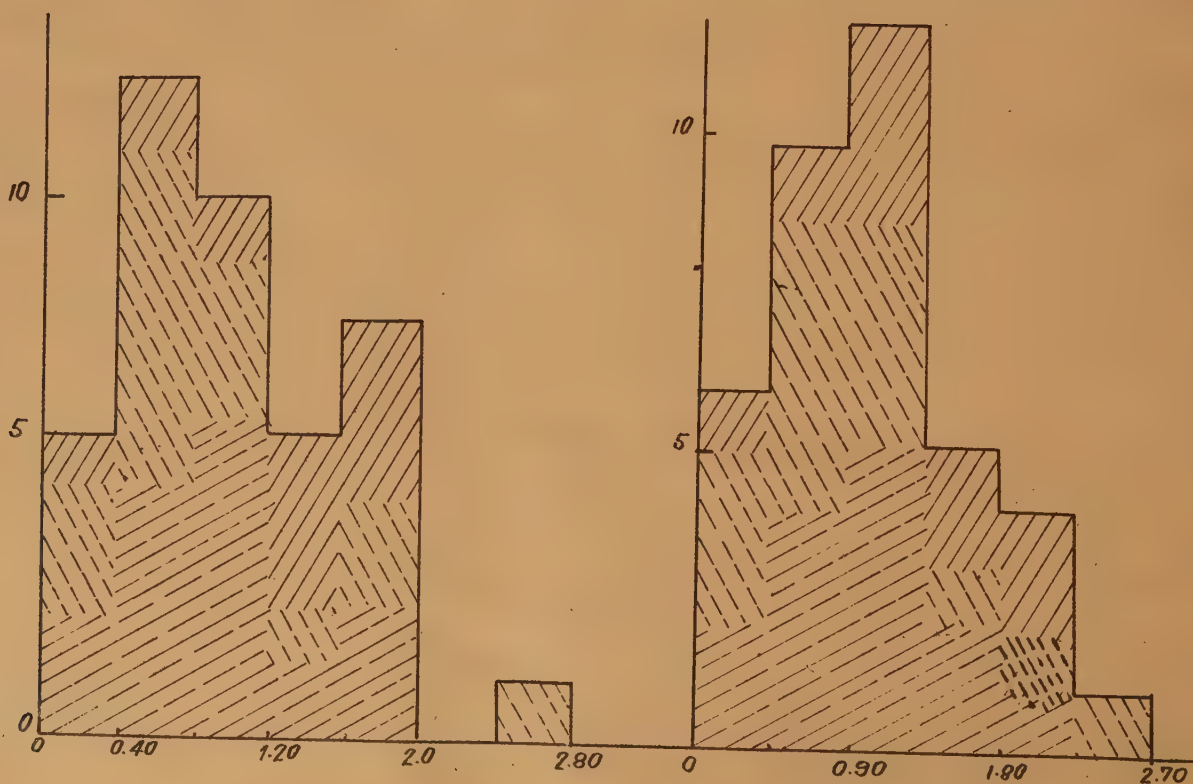
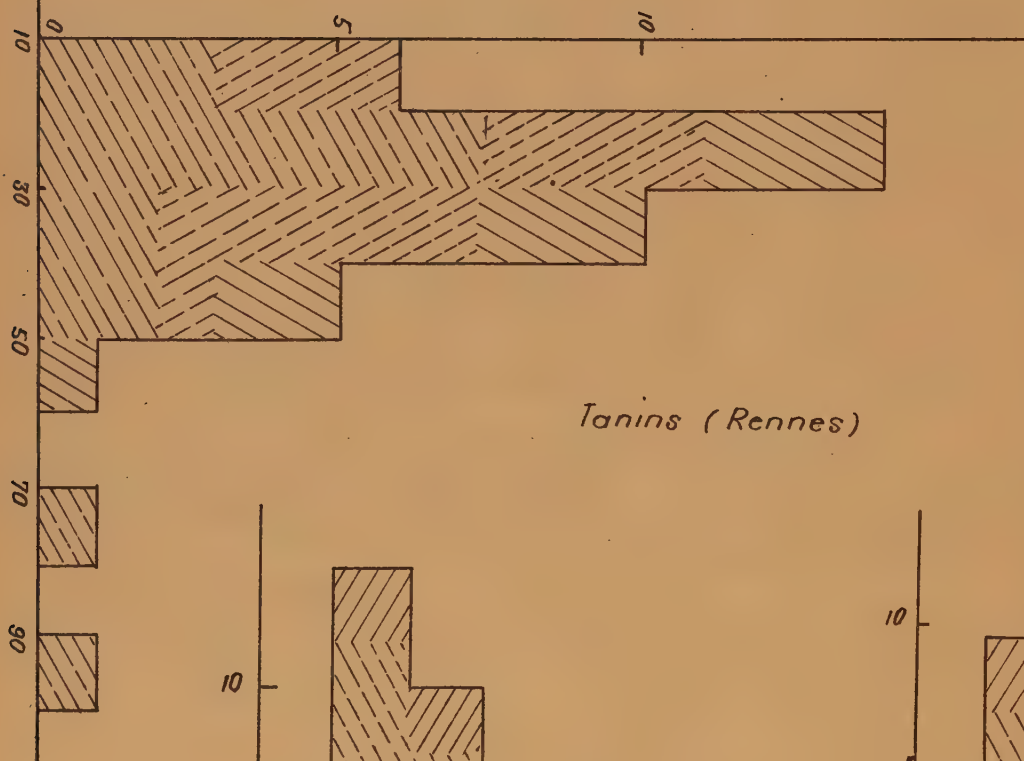
Extrait Réduit (Rennes)



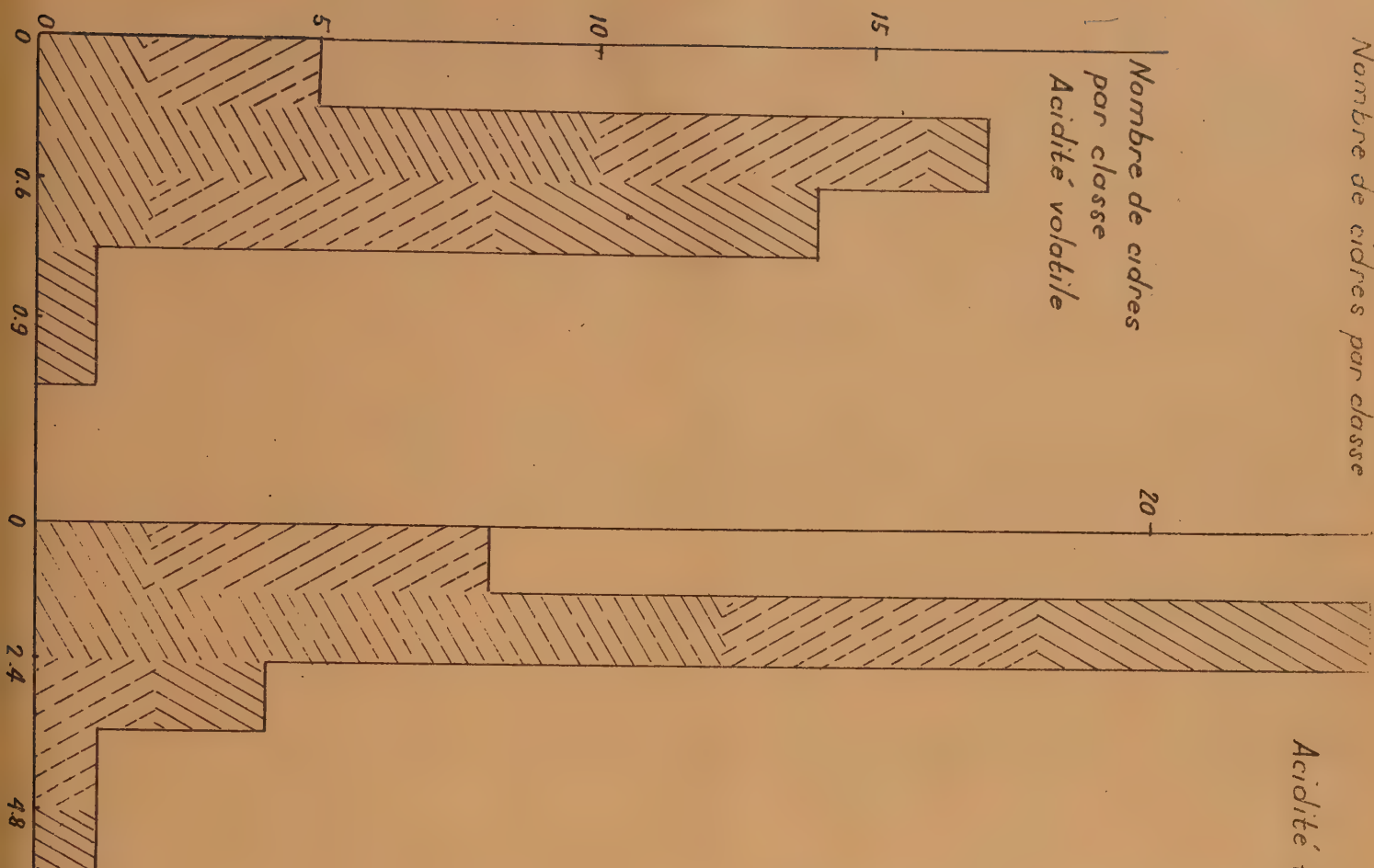
Azote (Rennes)



Tanins (Rennes)

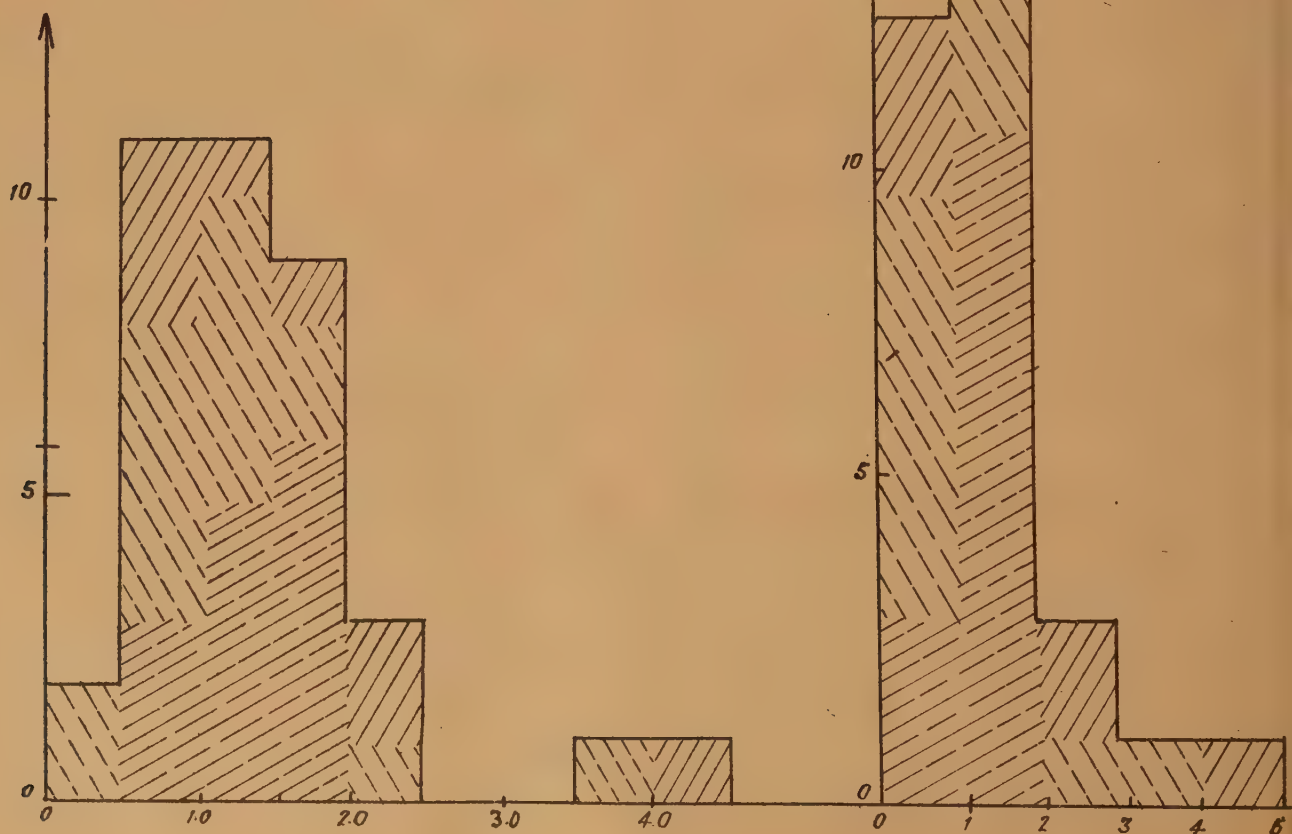
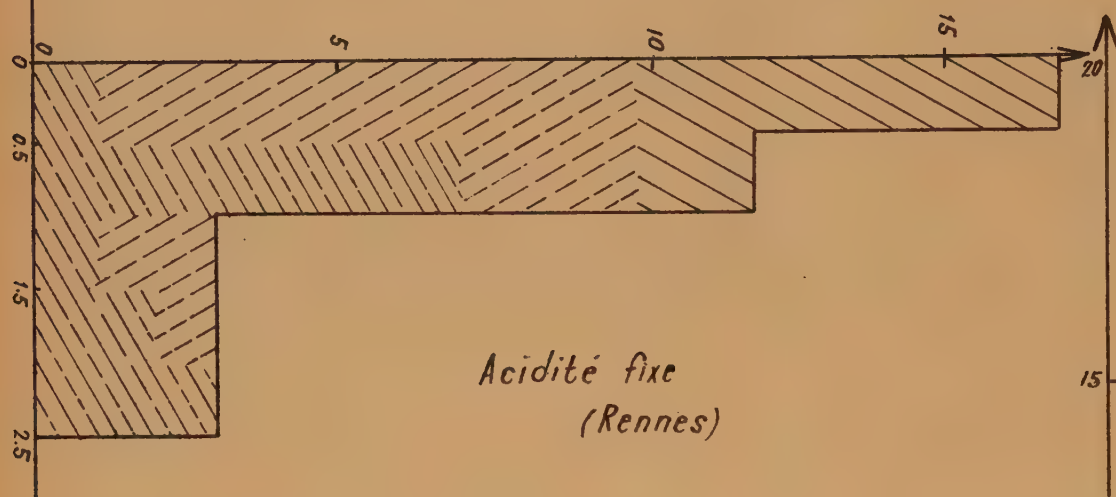
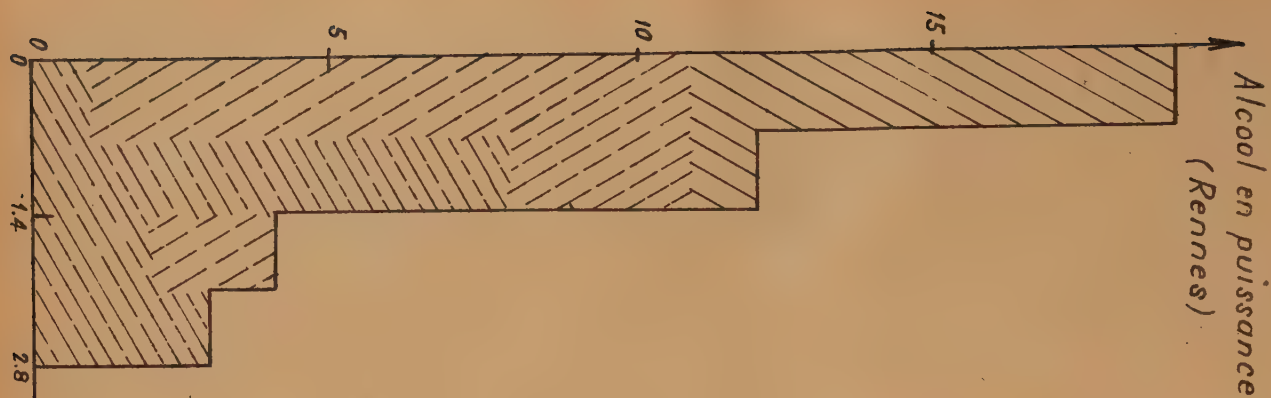


Nombre de cidres par classe

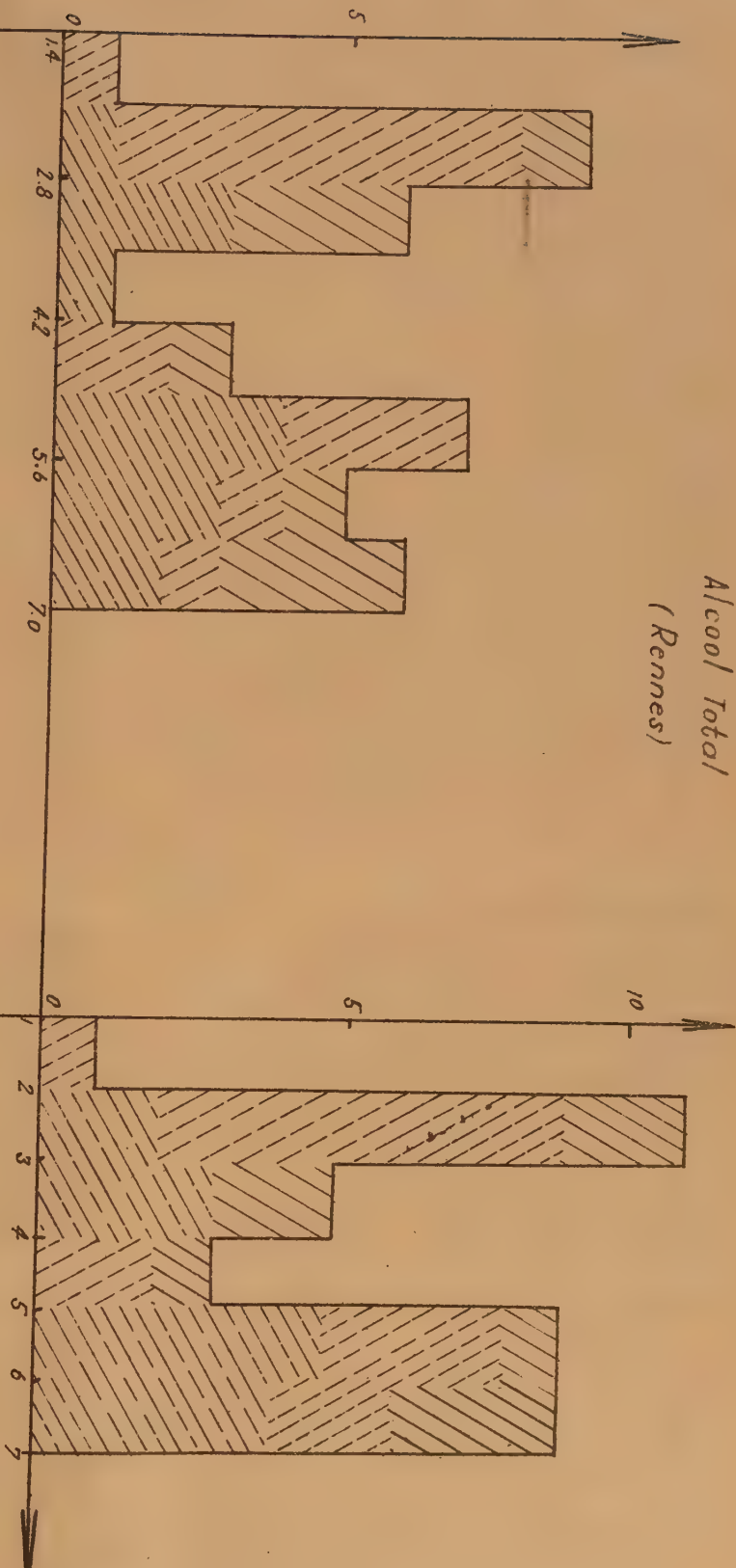


Acidité totale

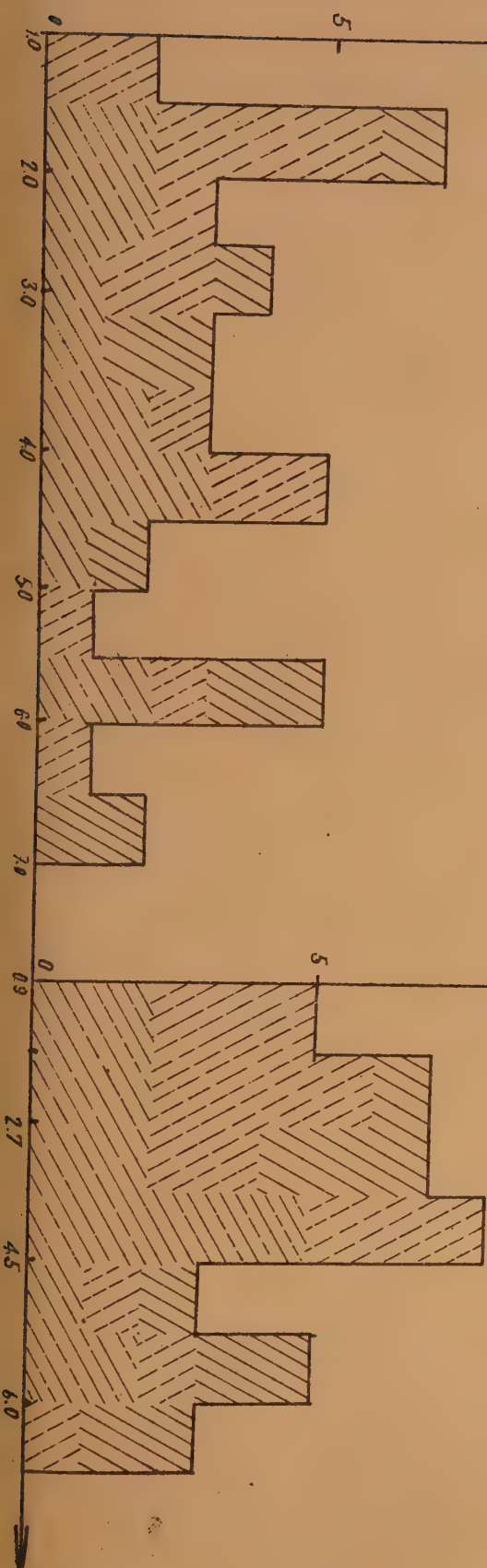




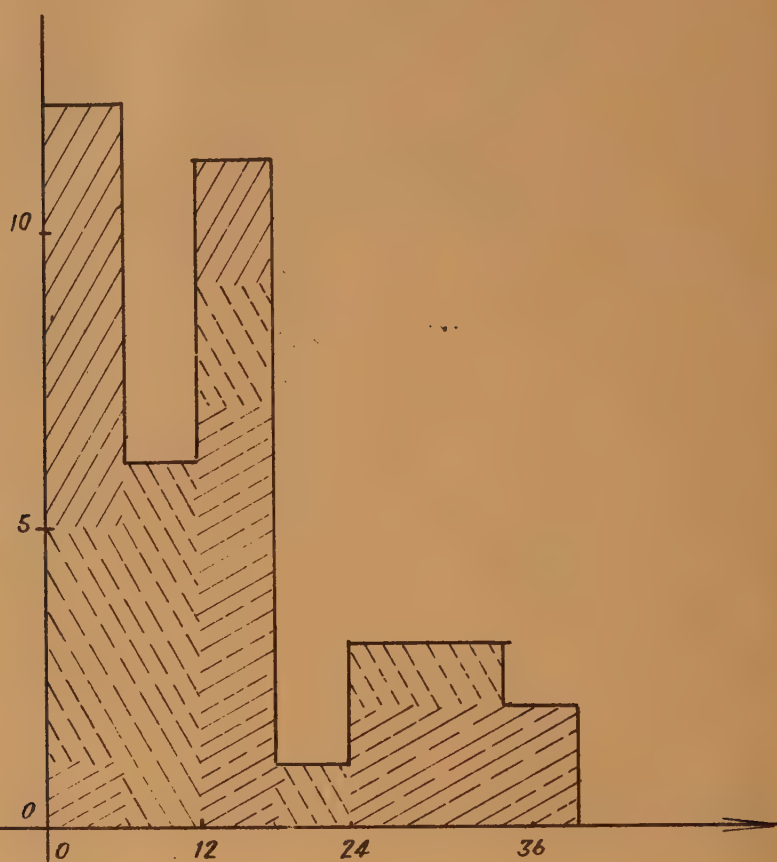
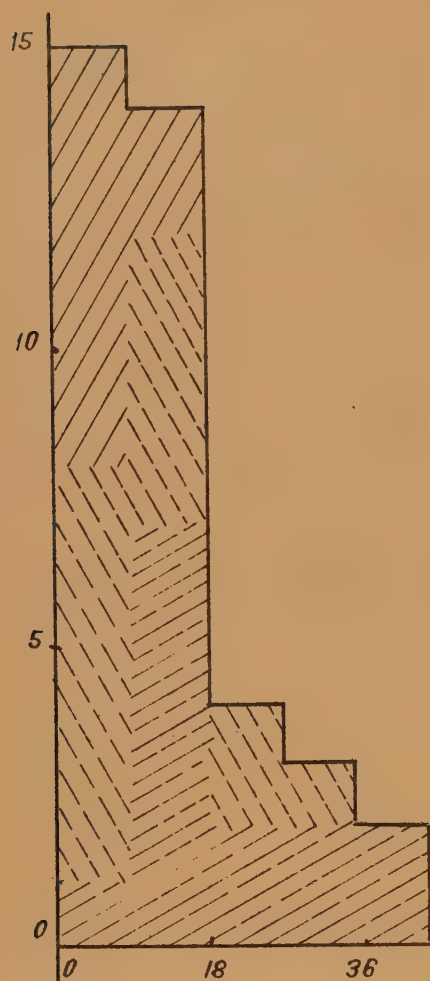
*Alcool Total
(Rennes)*



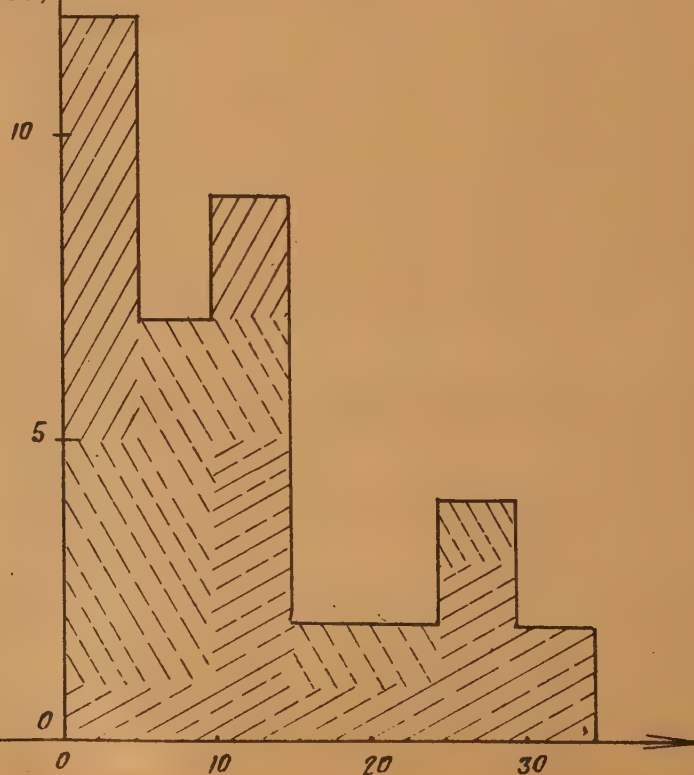
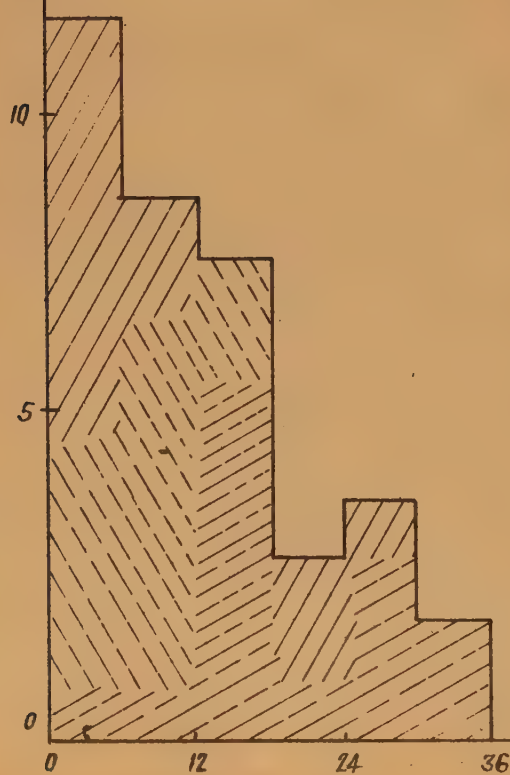
*Alcool acquis
(Rennes)*



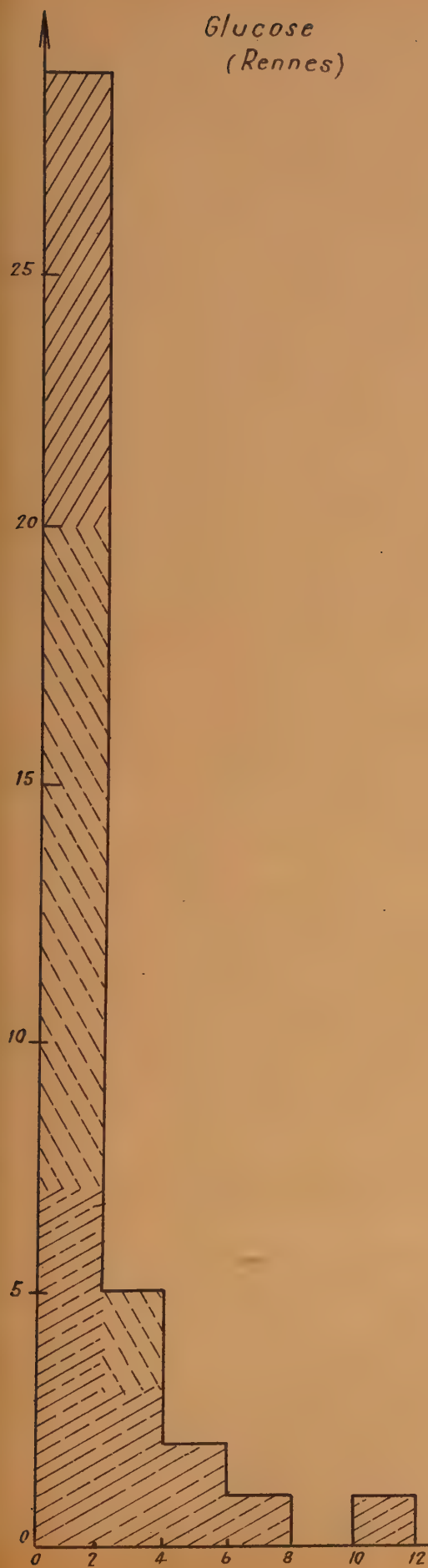
Sucres Réducteurs
(Rennes)



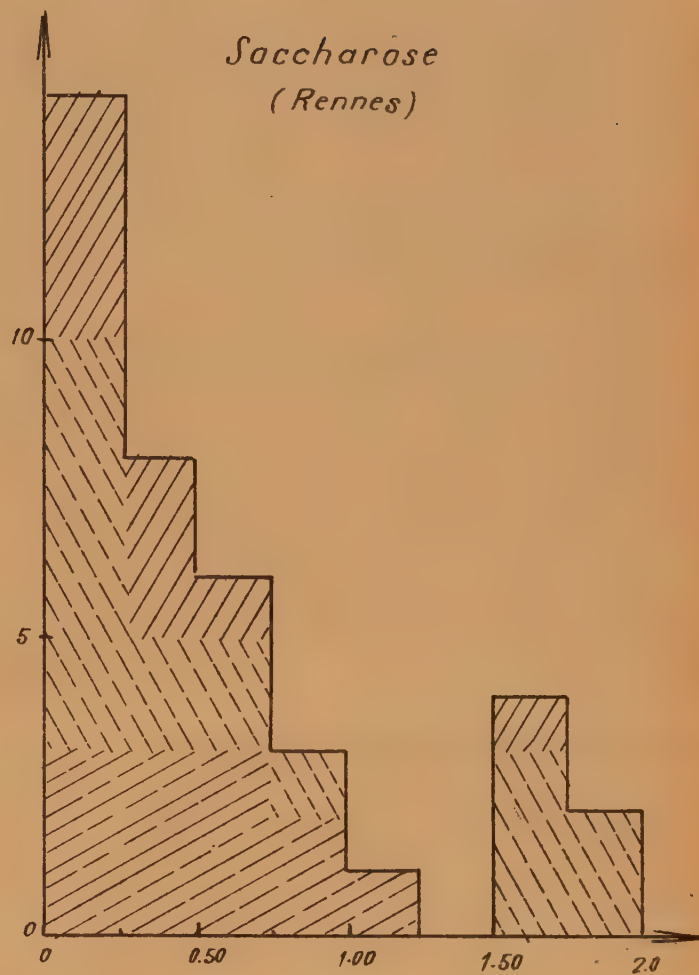
Lévulose
(Rennes)



Glucose
(Rennes)



Saccharose
(Rennes)



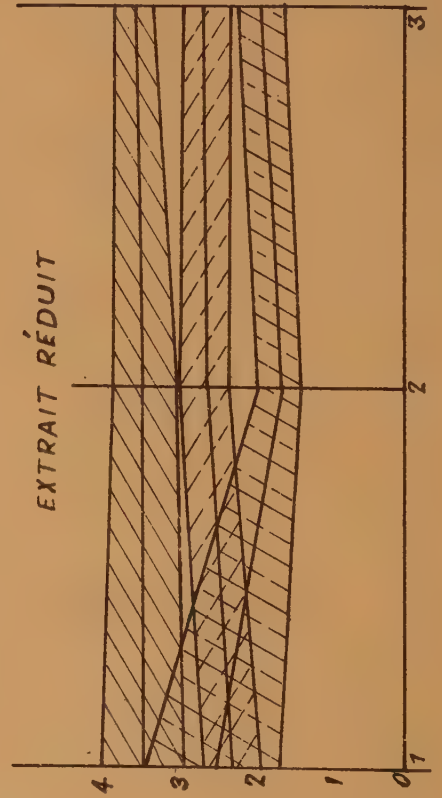
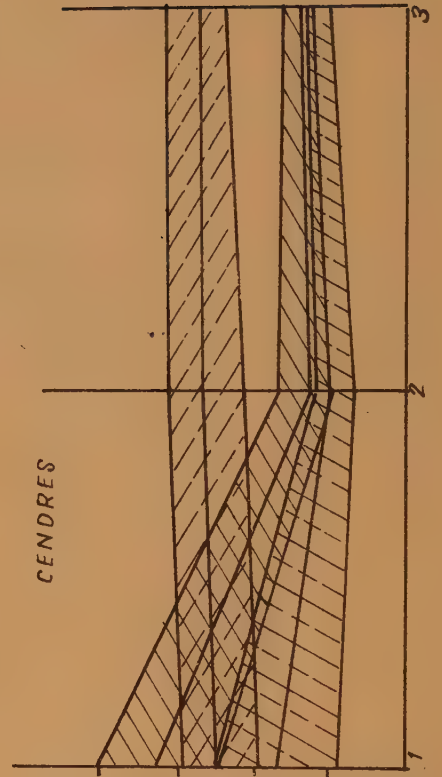
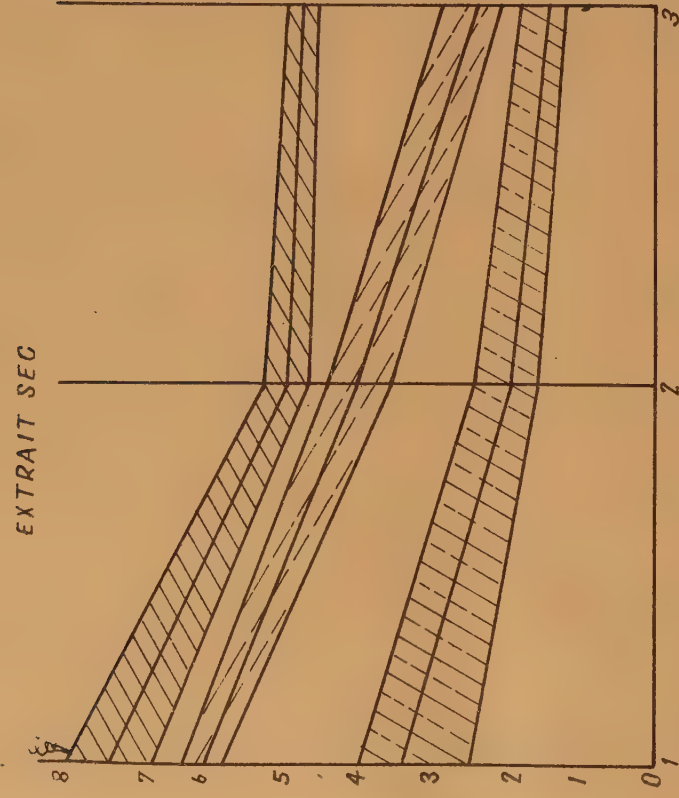
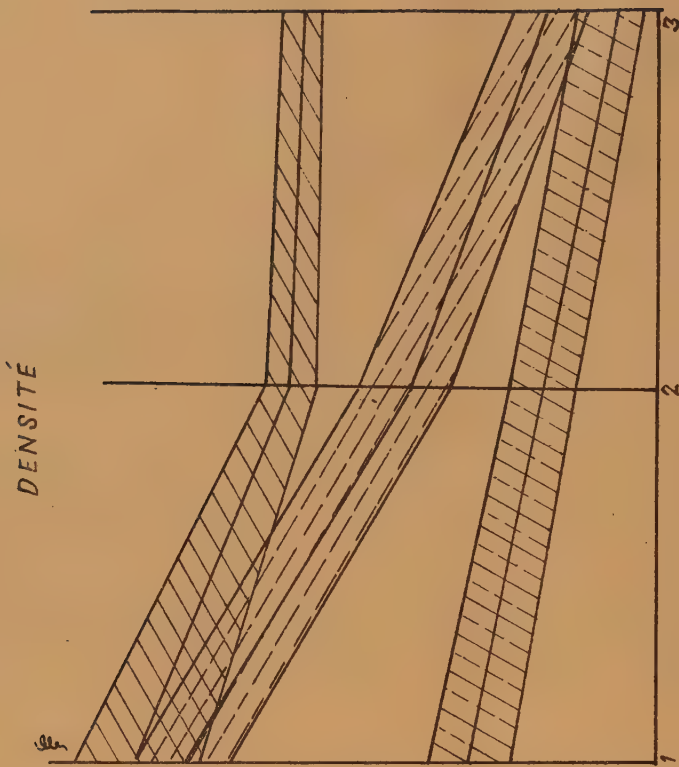
GRAPHIQUES N° 2

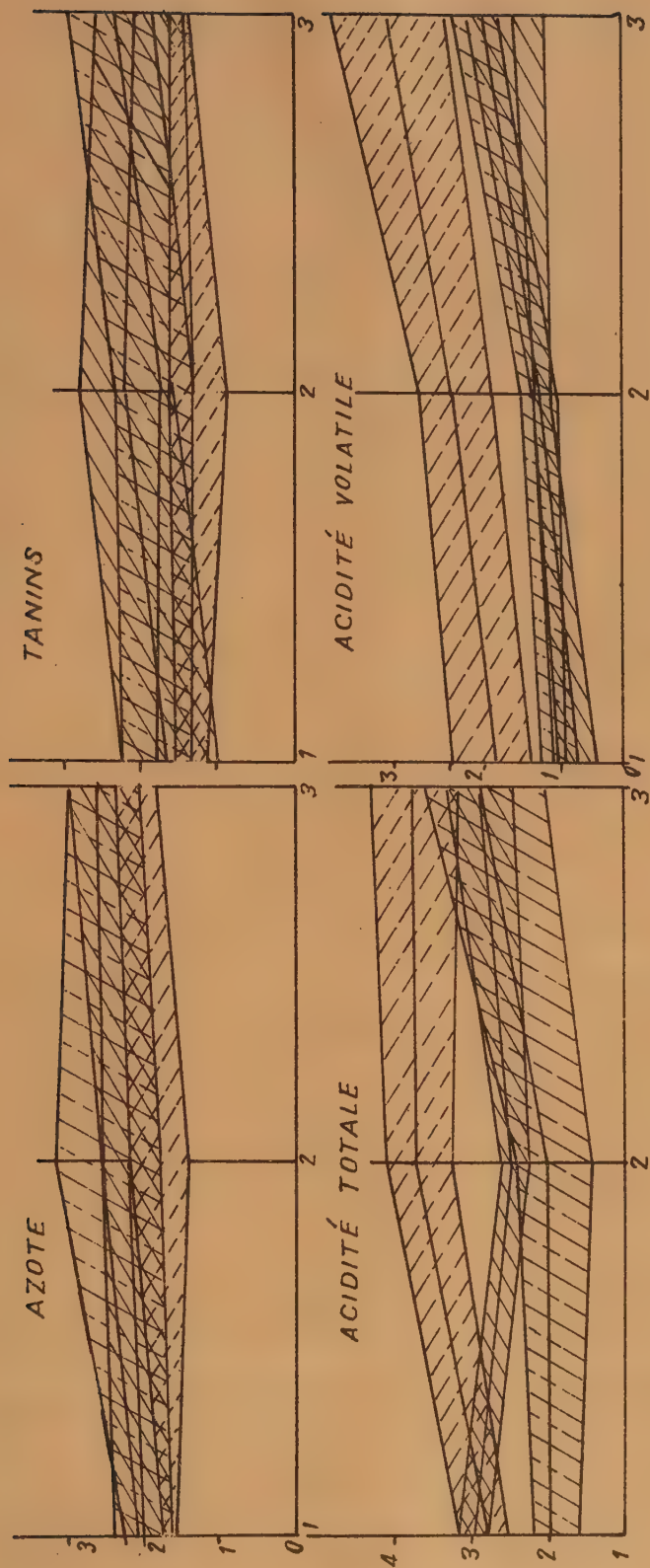
Comparaison des moyennes

Voir les explications de ces graphiques p. 54 - 55 ; 60 ; 63
 Nous portons en ordonnée les valeurs des ξ définies alors, en
 abscisse, les qualités (1° série) ou les levures C = Caumont C2
 M = M 45 (2), L = LB 3) qui ont servi dans la fermentation (2° série)
 Dans cette série, nous indiquons aussi la moyenne des mûts avant
 fermentation, qui est alors rapportée à la levure 0.

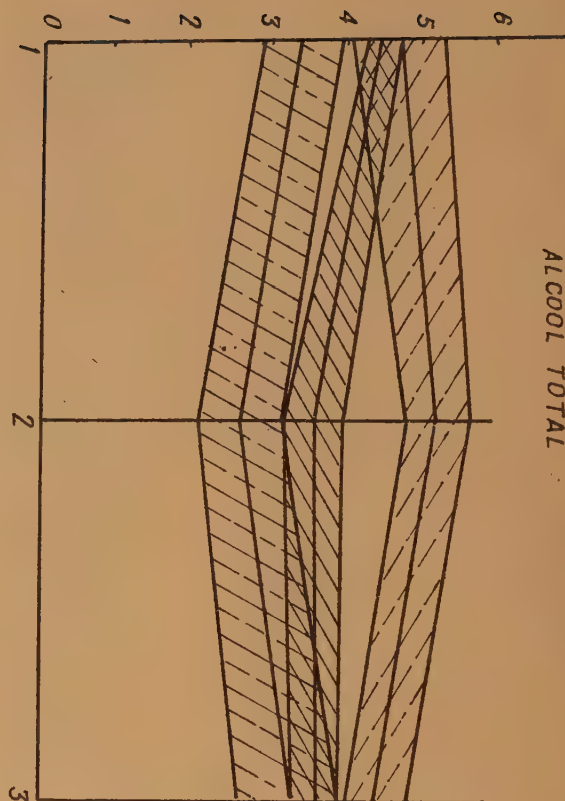
1° série) Les cidres de Vimoutiers sont représentés en hachures
 continues, ceux du Mans en hachures pointillées, et ceux
 de Rennes en hachures mixtes.

2° série) Les cidres faits à partir des pommes Bedan sont repré-
 sentés en hachures continues, Damelot en hachures poin-
 tillées, Wilbéry en hachures mixtes.

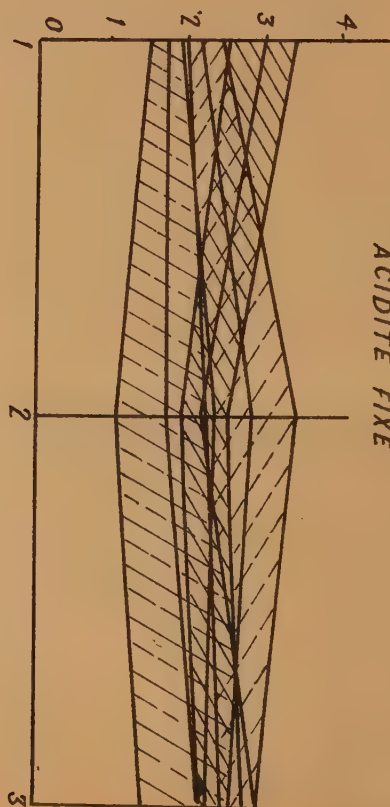




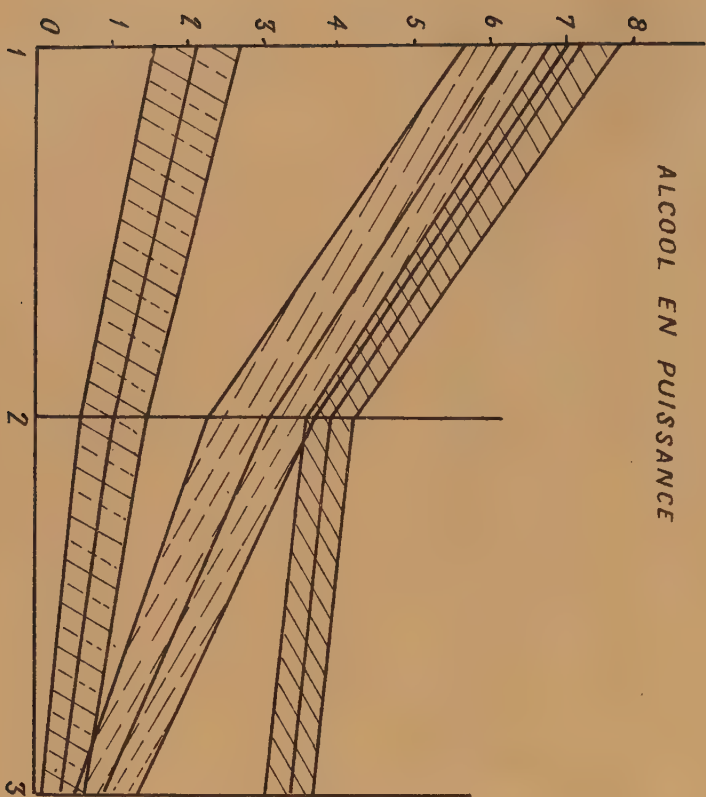
ALCOOL TOTAL



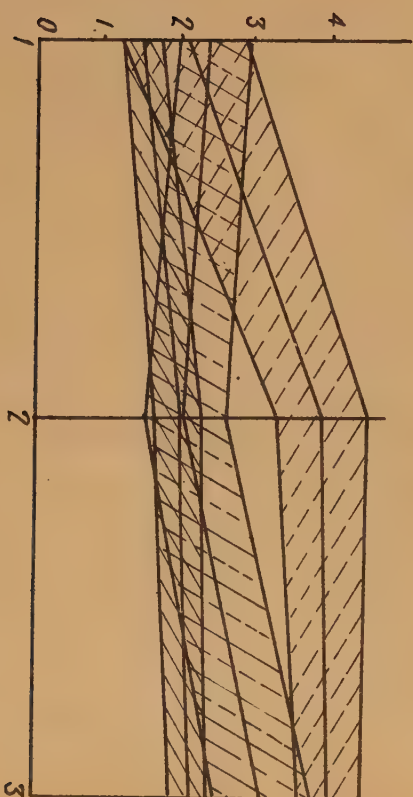
ACIDITÉ FIXE



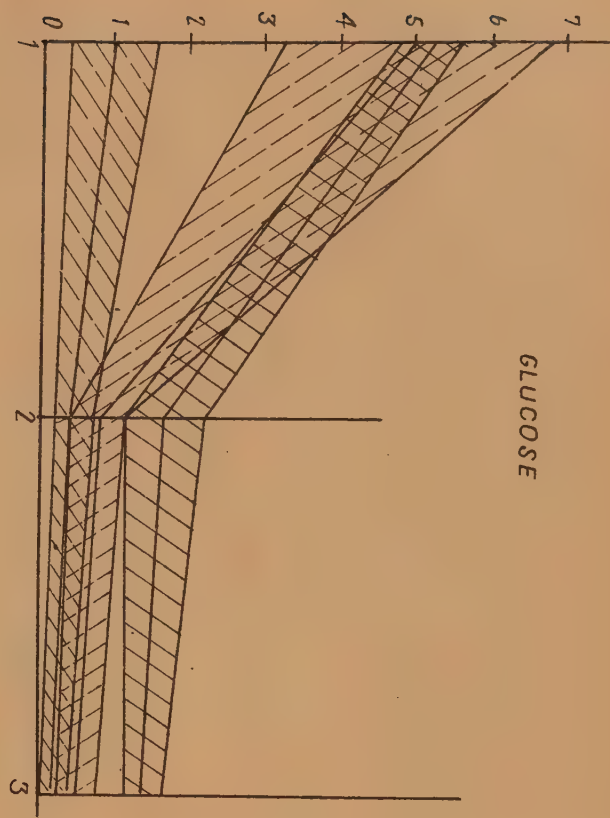
ALCOOL EN PUISSANCE



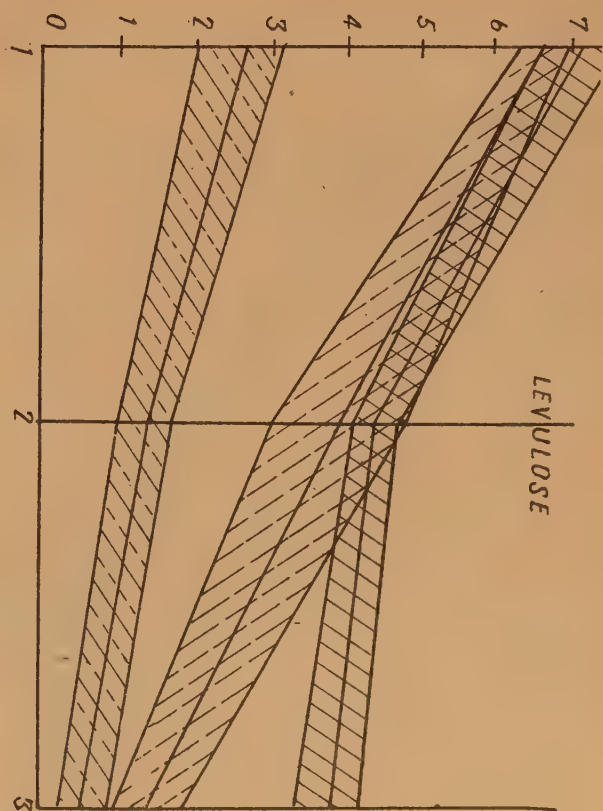
ALCOOL ACQUIS



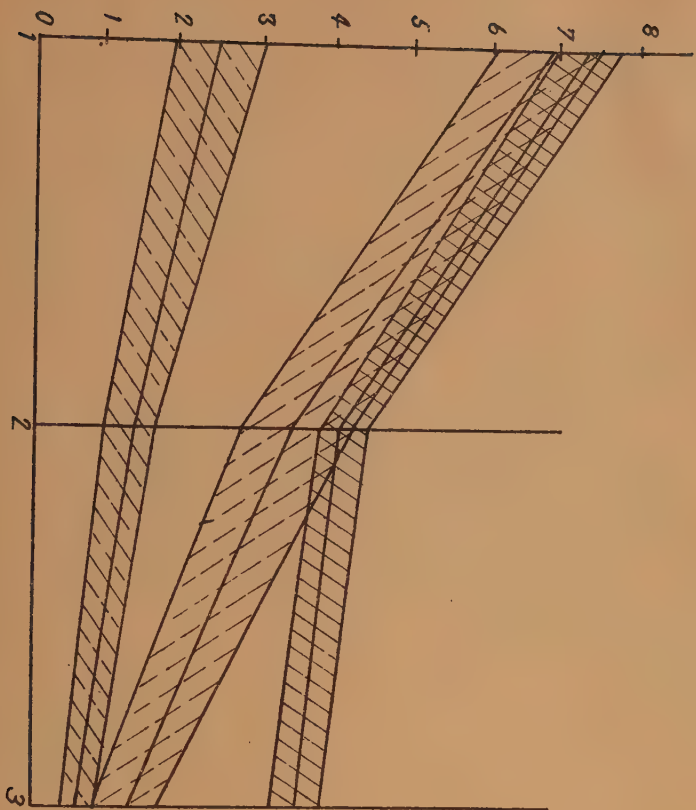
GLUCOSE



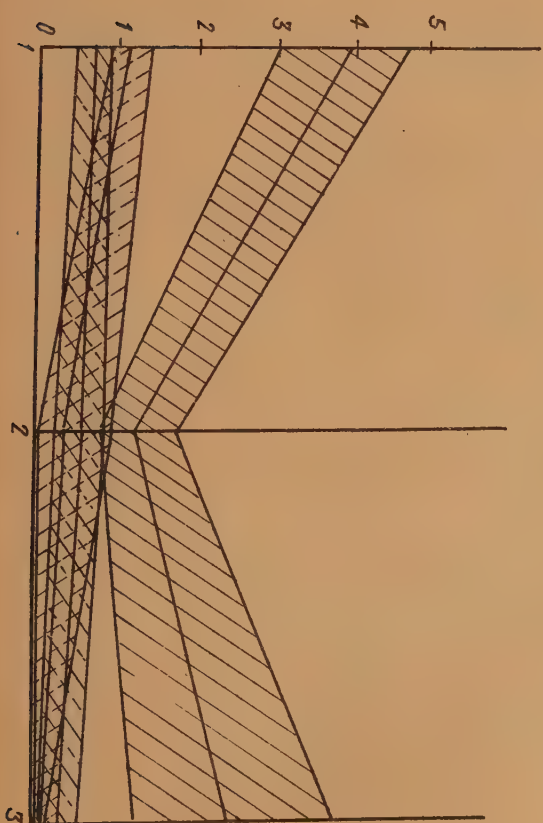
LEVULOSE

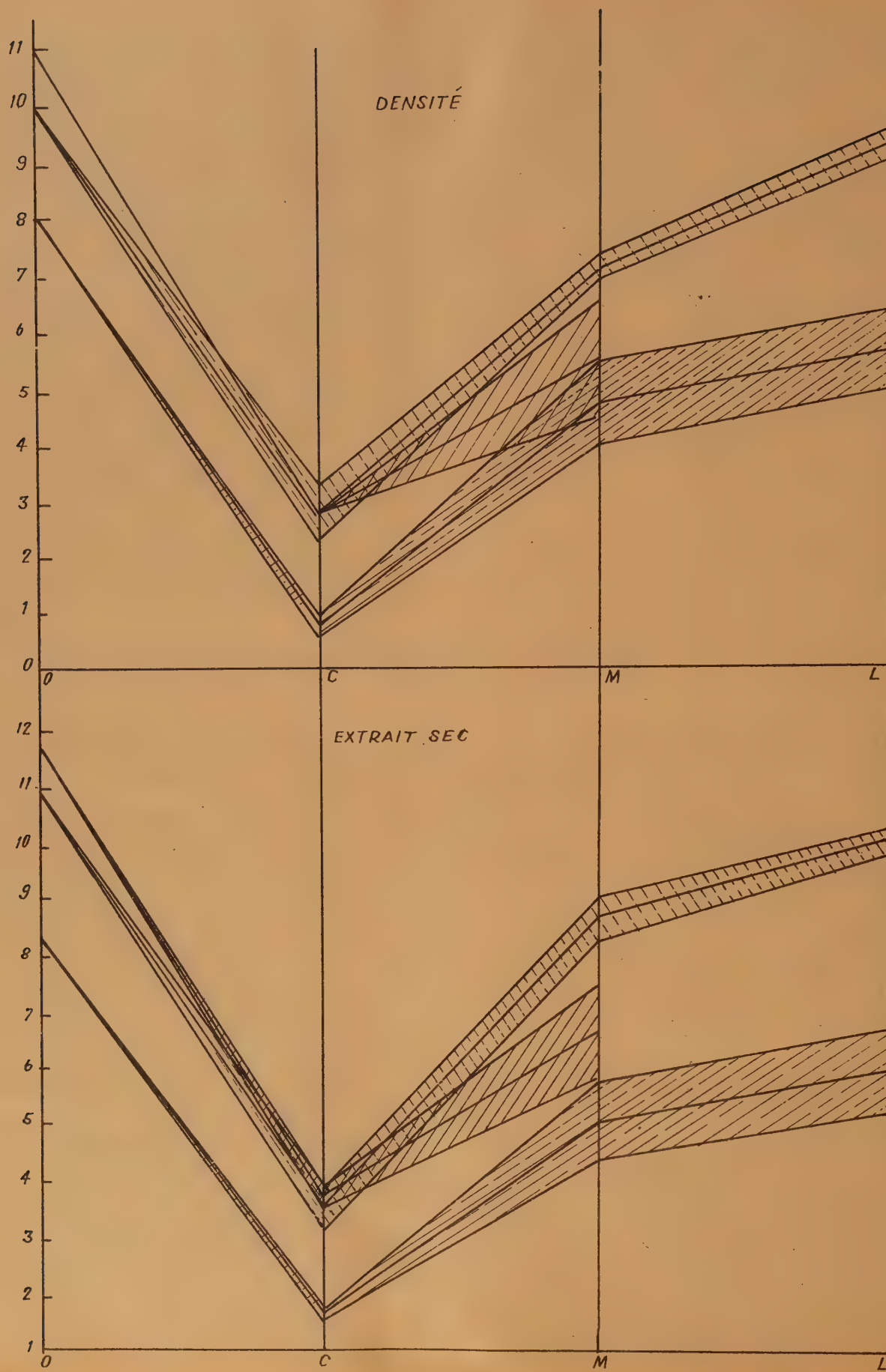


SUCRES RÉDUCTEURS

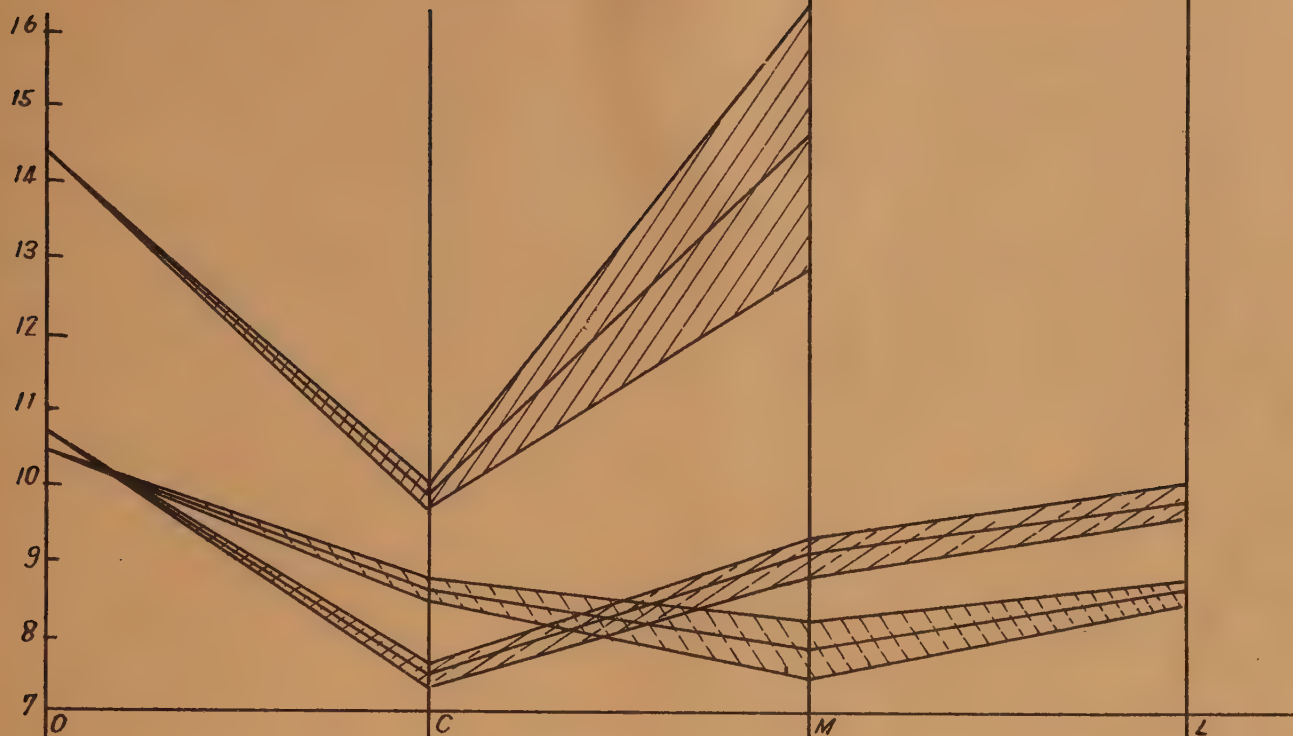


SACCHAROSE

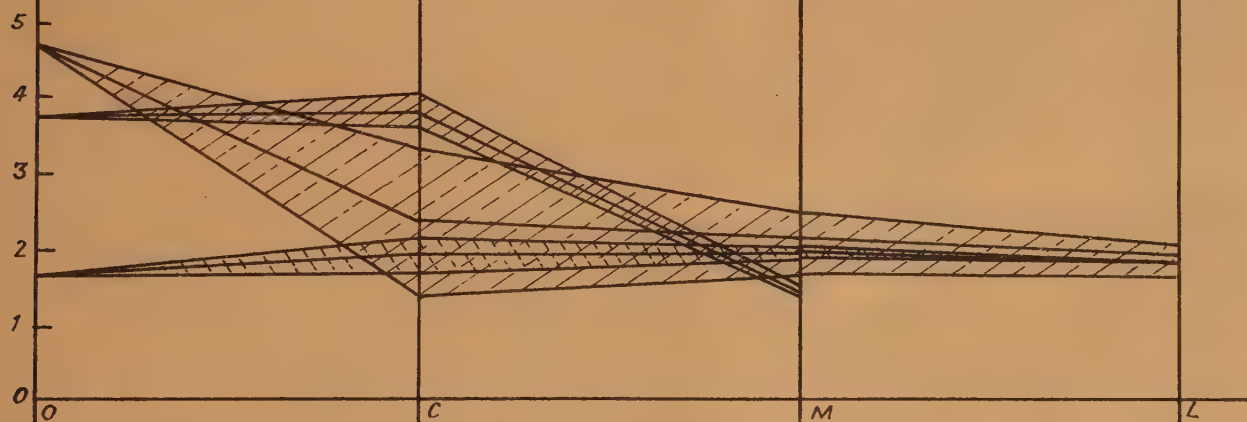




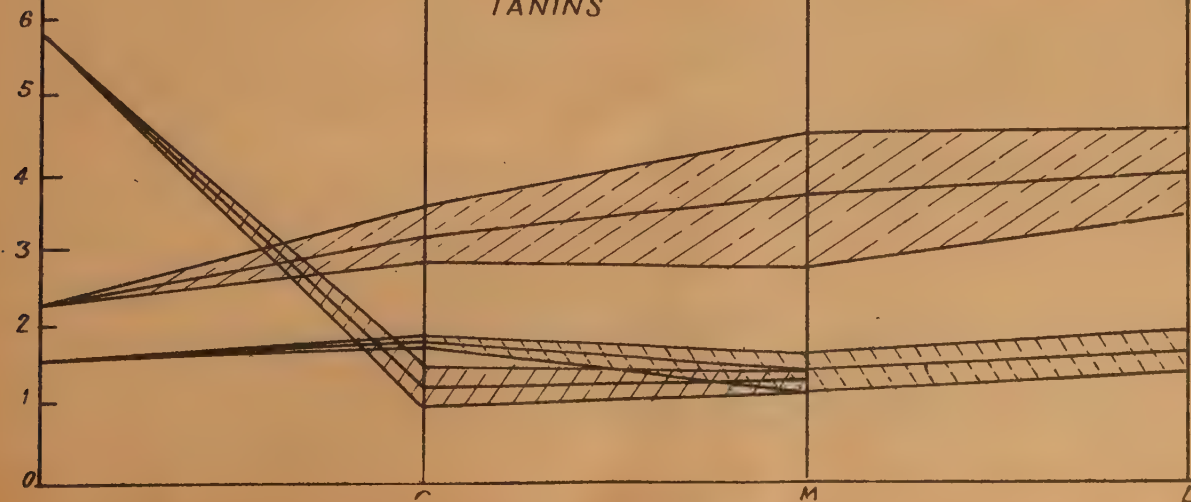
EXTRAIT RÉDUIT

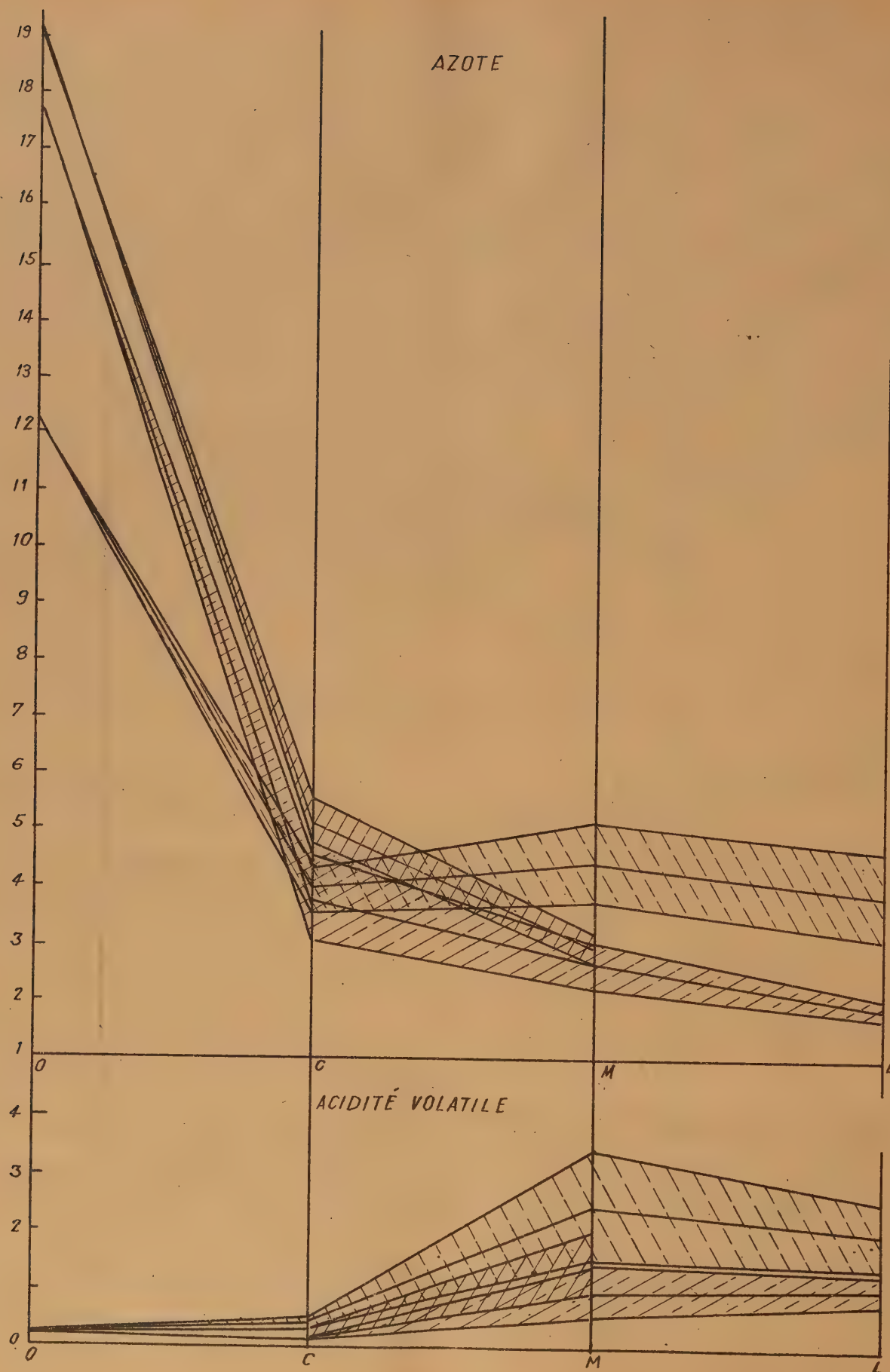


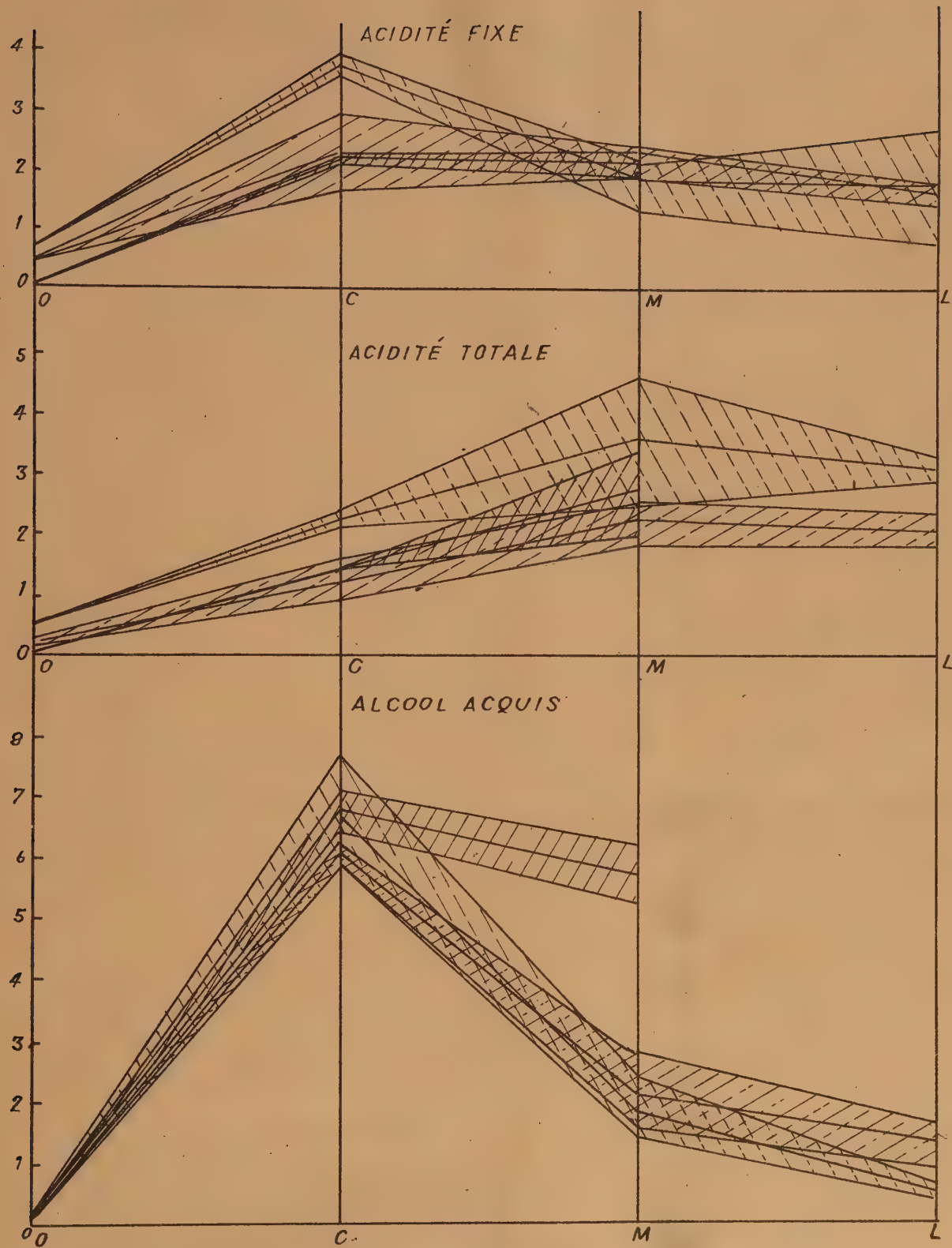
CENDRES

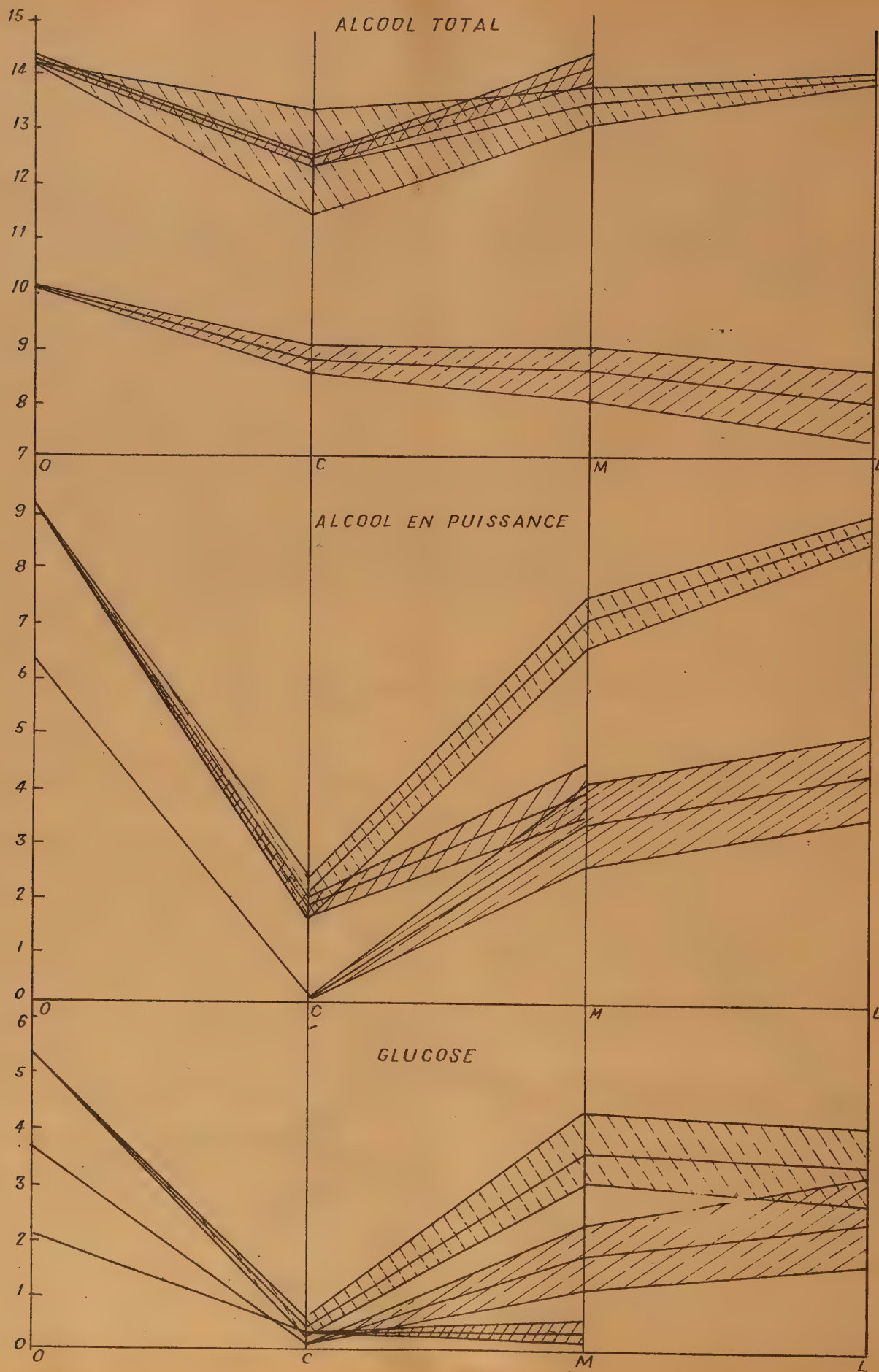


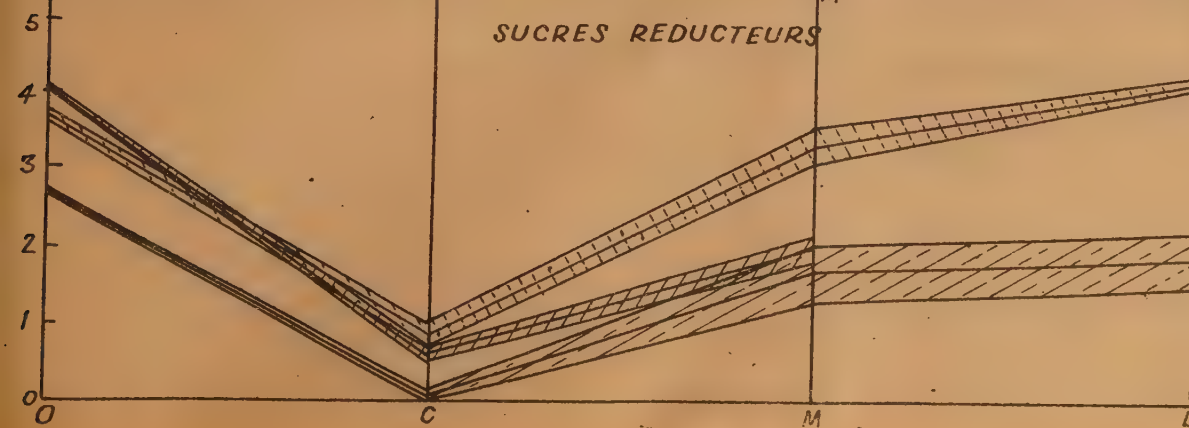
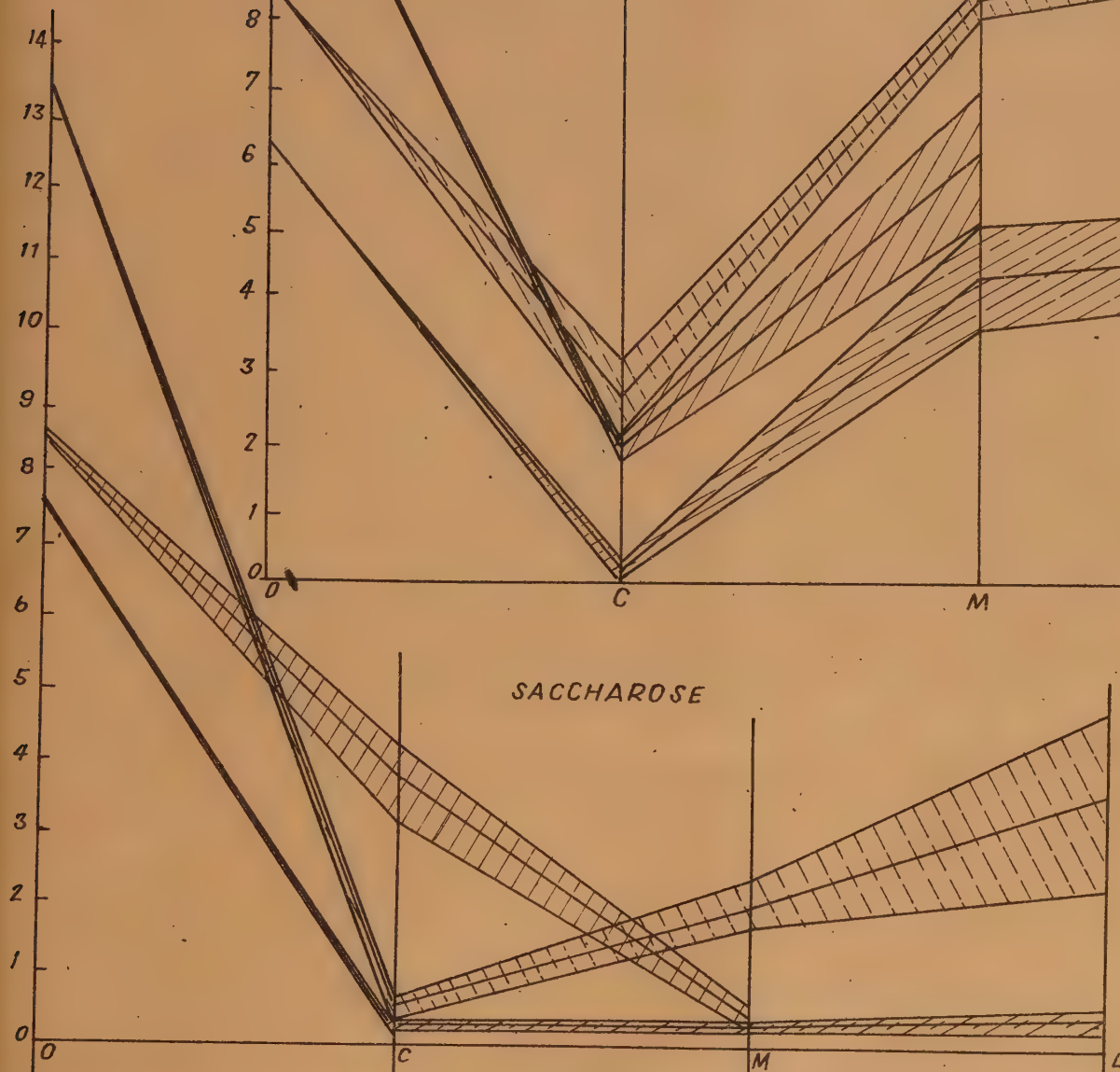
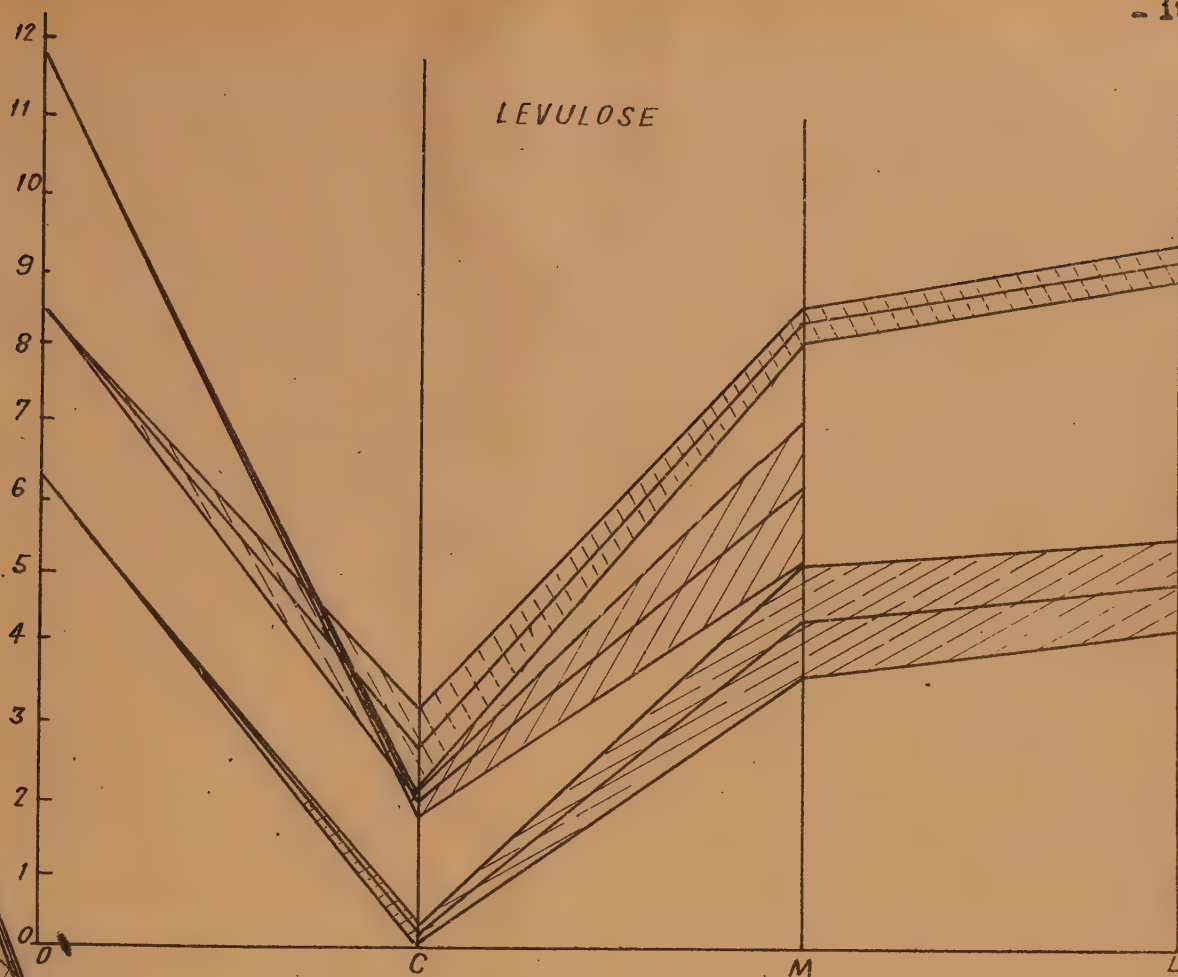
TANINS











GRAPHIQUES N° 3

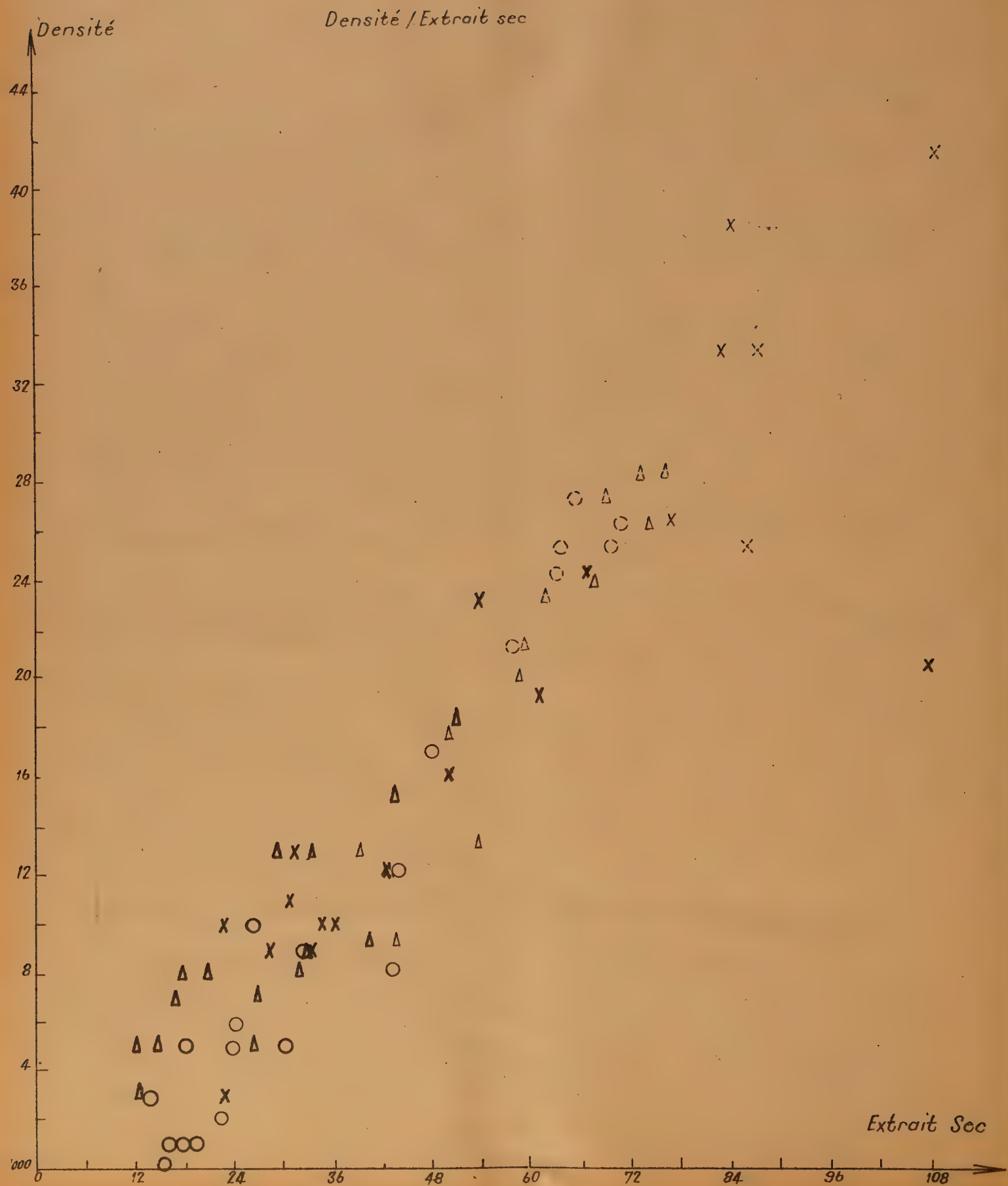
Corrélation entre divers éléments du cidre

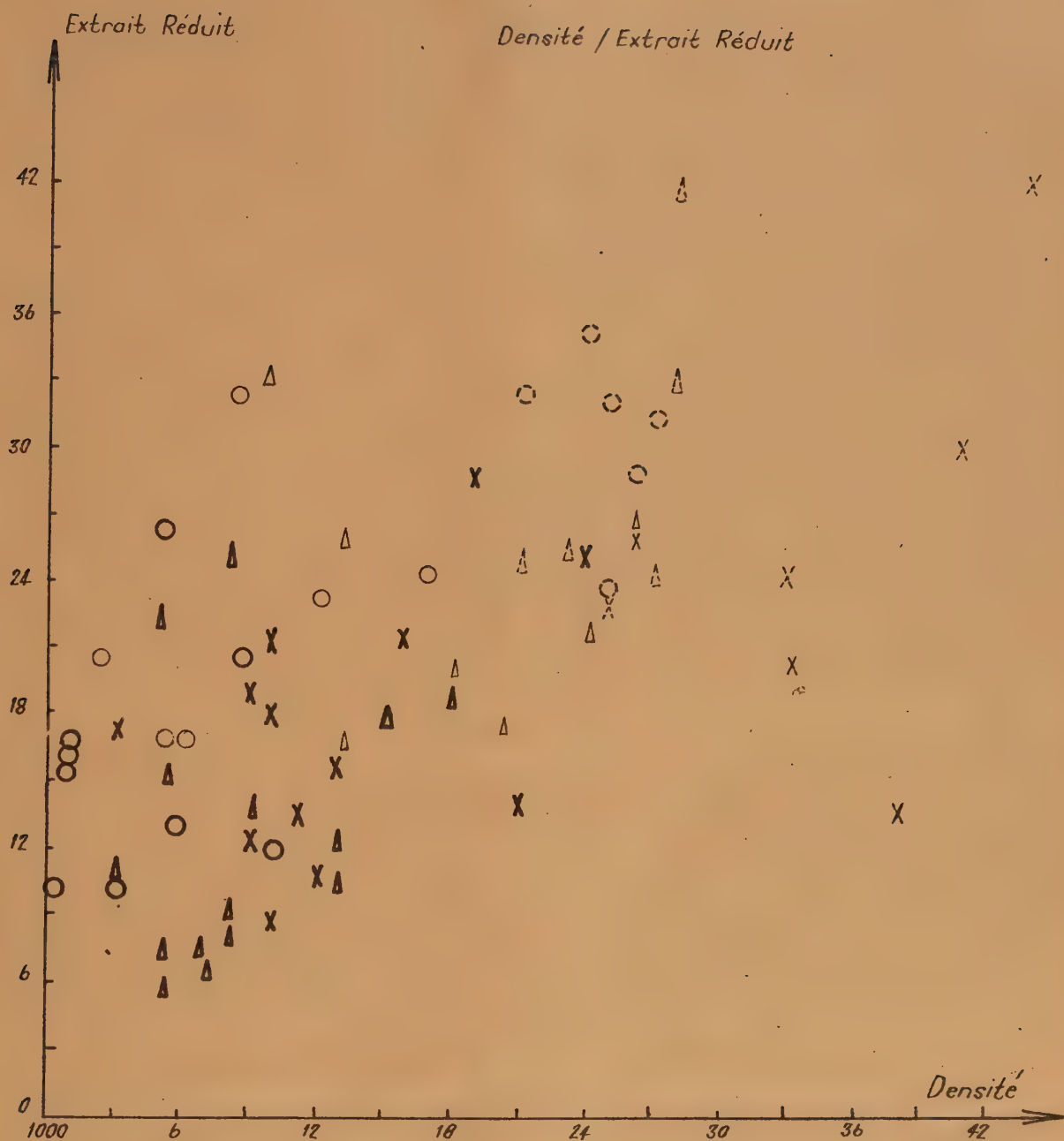
Les explications relatives à ces graphiques ont été entièrement données p. 65-66

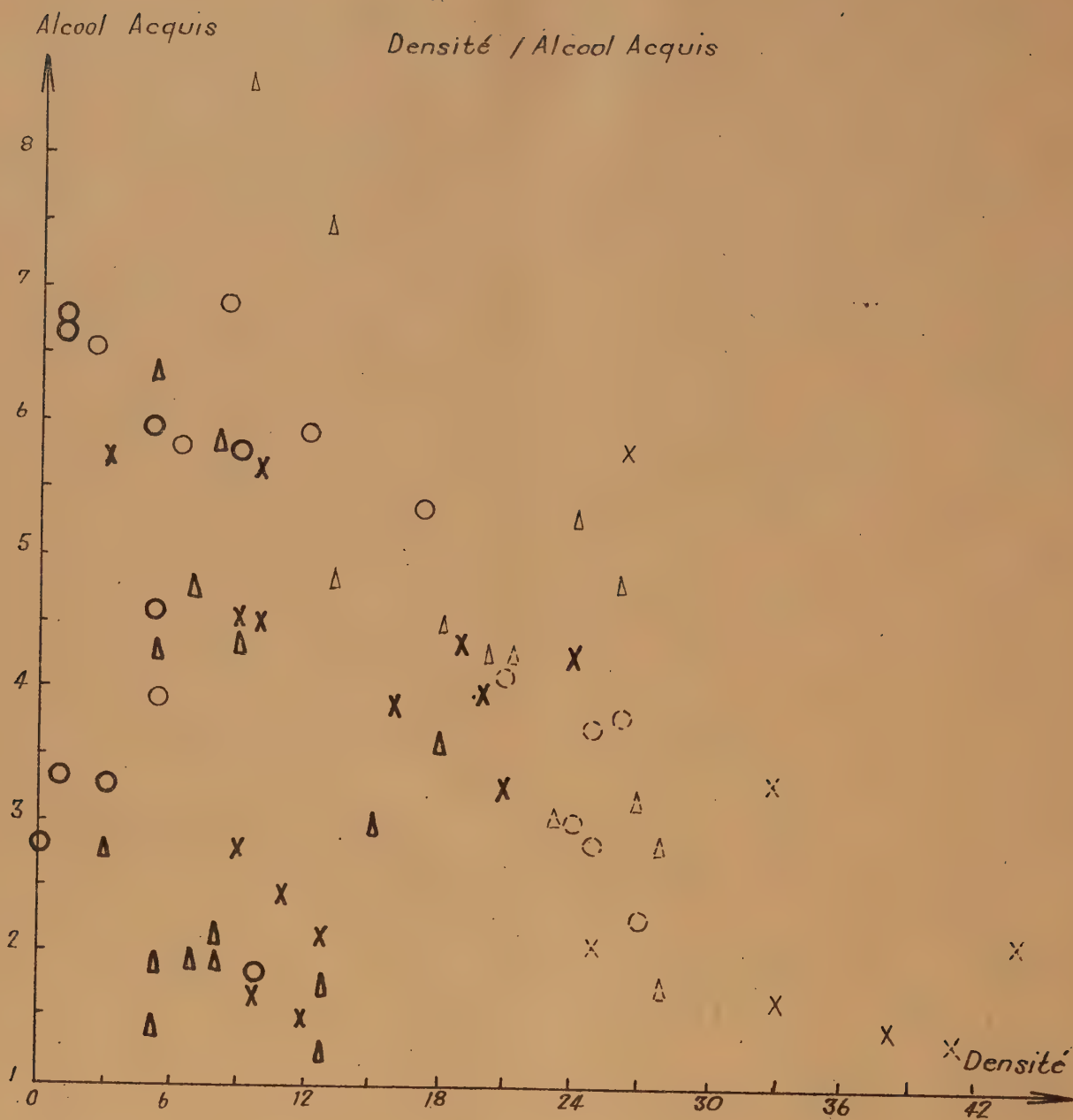
Nous avons joint à ces graphiques celui des droites de régression relatives au couple Densité/Alcool en puissance, qui montre d'une manière typique qu'il faut séparer les différentes régions et qualités pour construire ces droites.

Nous représentons dans ces graphiques, en trait fort, les deux droites de régression pour toute la population des cidres que nous avons étudiés (les trois qualités des Pays d'Auge, Sarthe et Ille et Vilaine). Celles relatives à chaque qualité des cidres du Mans ou de Rennes différent assez peu de ces droites, quand elles ne se confondent pas; nous ne les traçons pas. Par contre, nous représenterons en tirets les droites de régression des cidres de Vimoutiers (1° qualité en tirets, 3° en traits discontinus, pour la 2° qualité de cette région, nous avons vu qu'il n'y avait pas de corrélation significative); les différences observées, soit entre ces droites elles-mêmes, soit entre celle-ci et celles de la population entière sont frappantes.

Enfin nous avons rapporté aussi, en trait fin, la droite généralement admise comme représentant la liaison entre ces deux mesures.

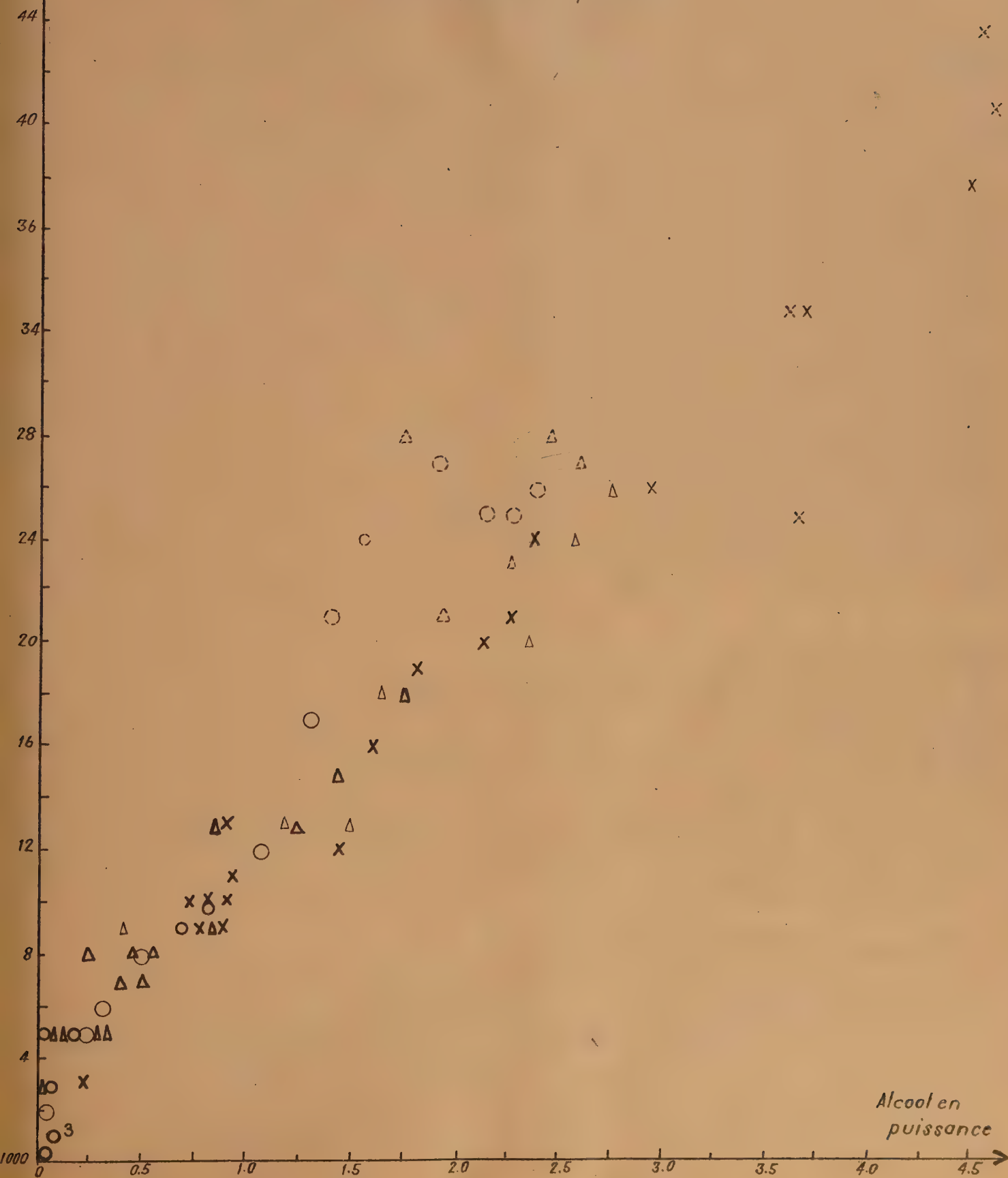


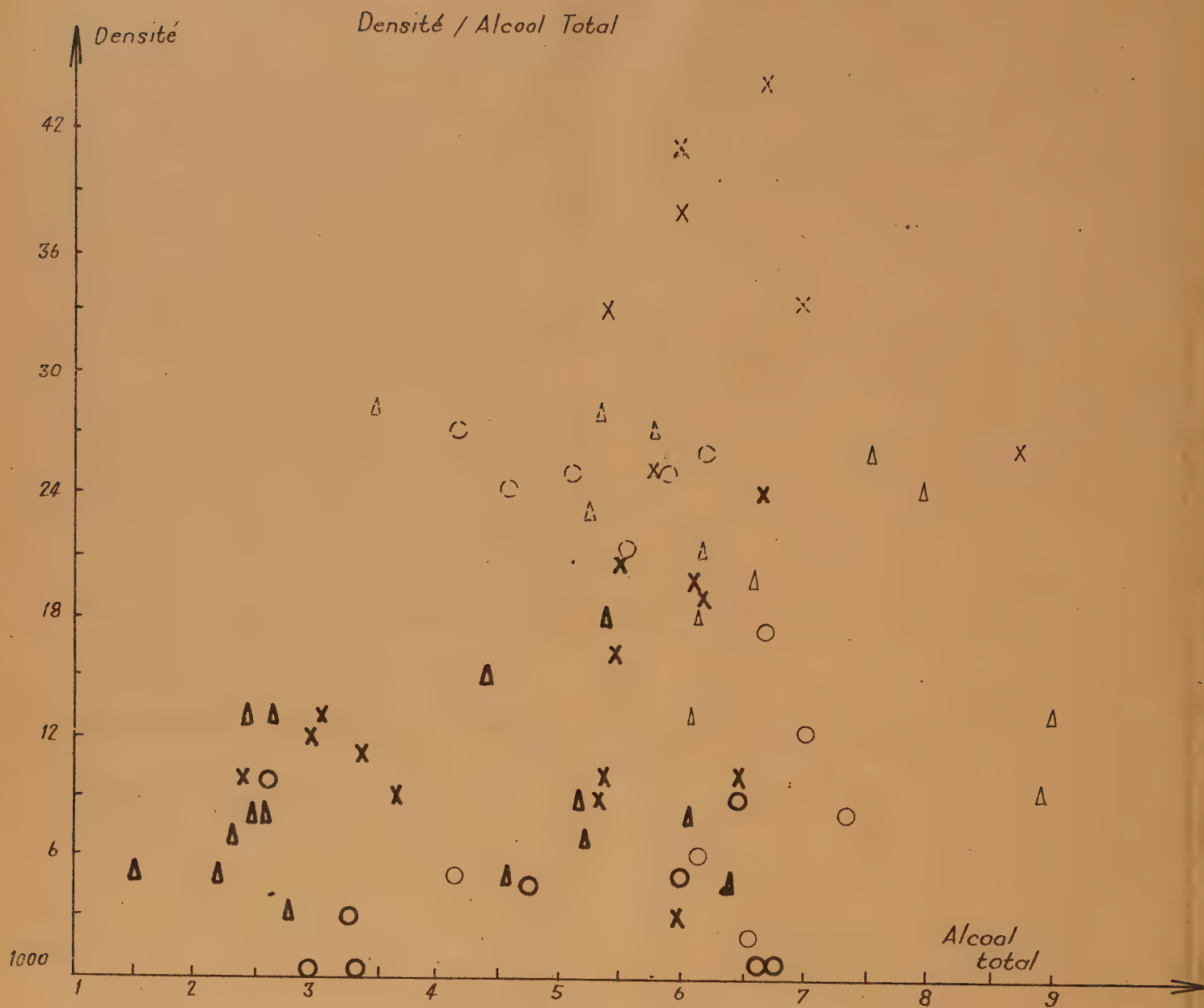


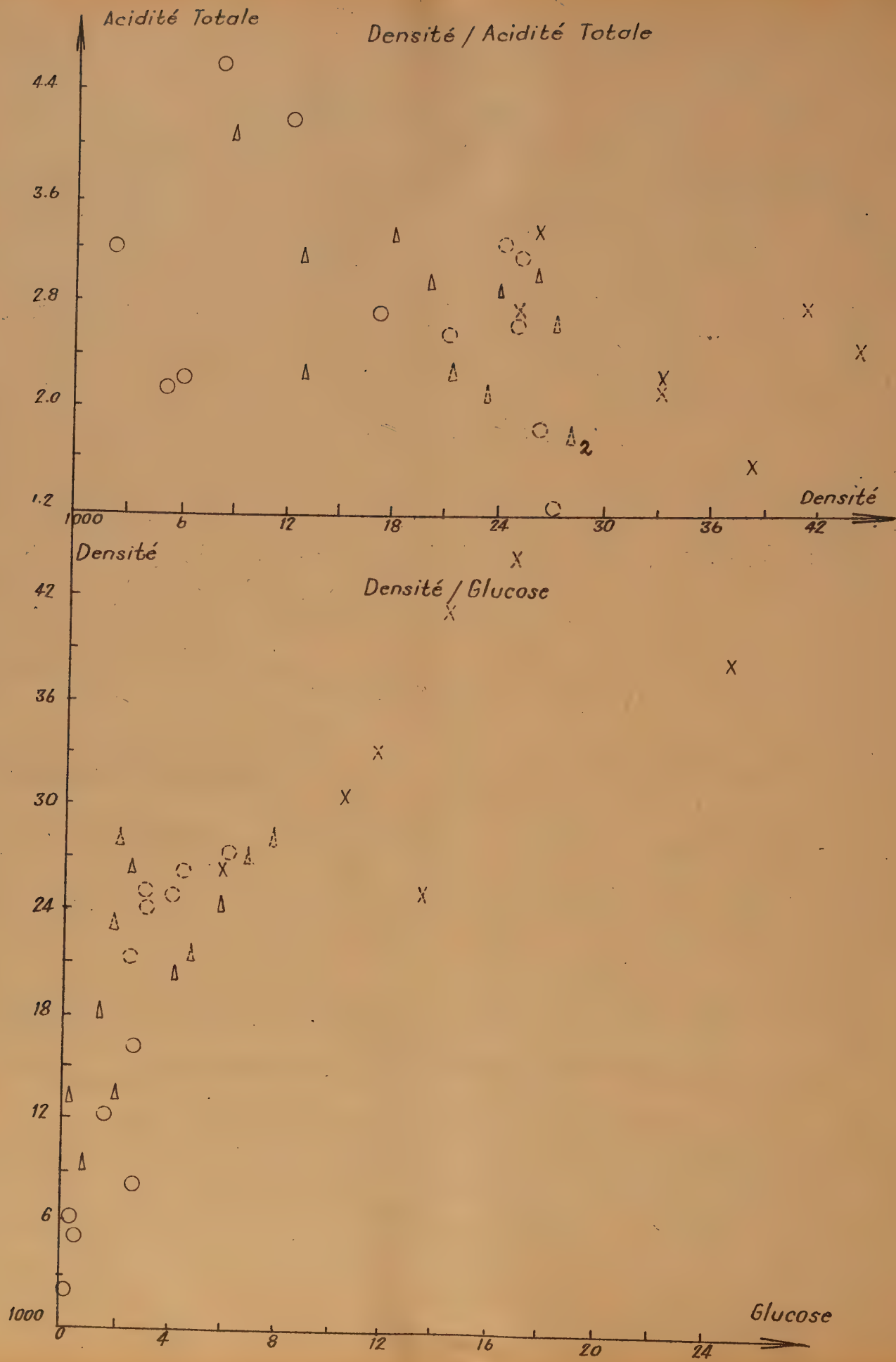


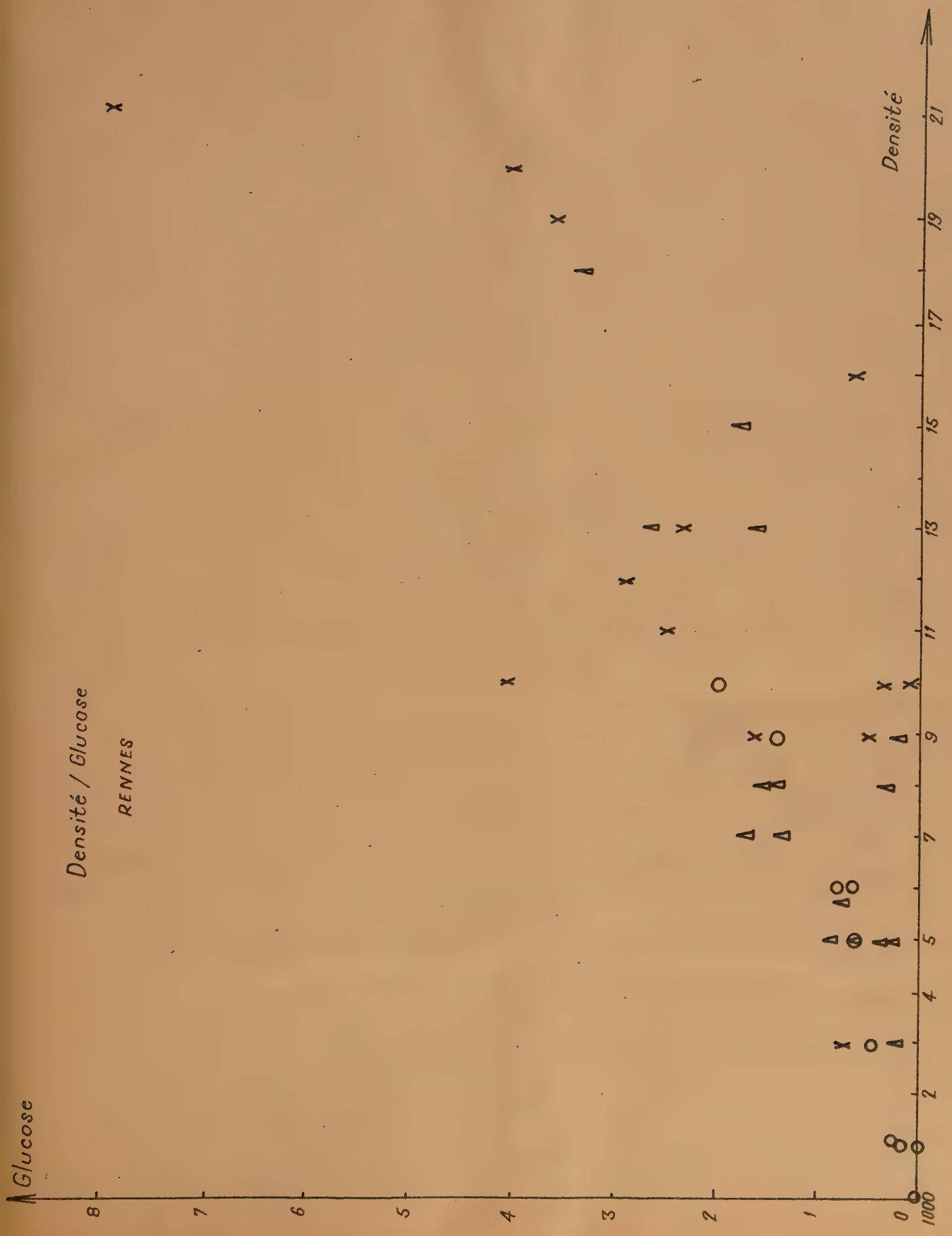
Densité

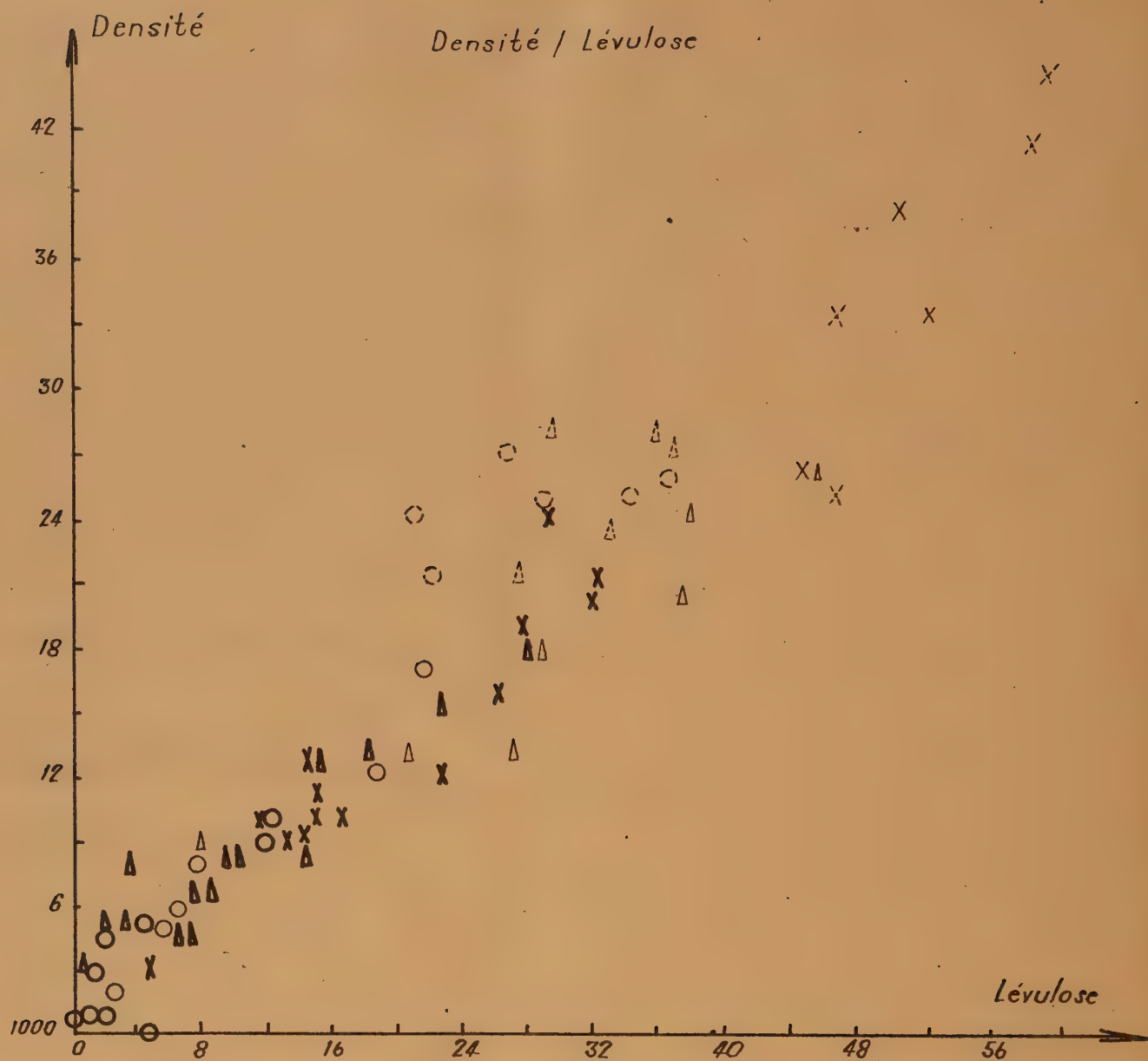
Densité / Alcool en puissance







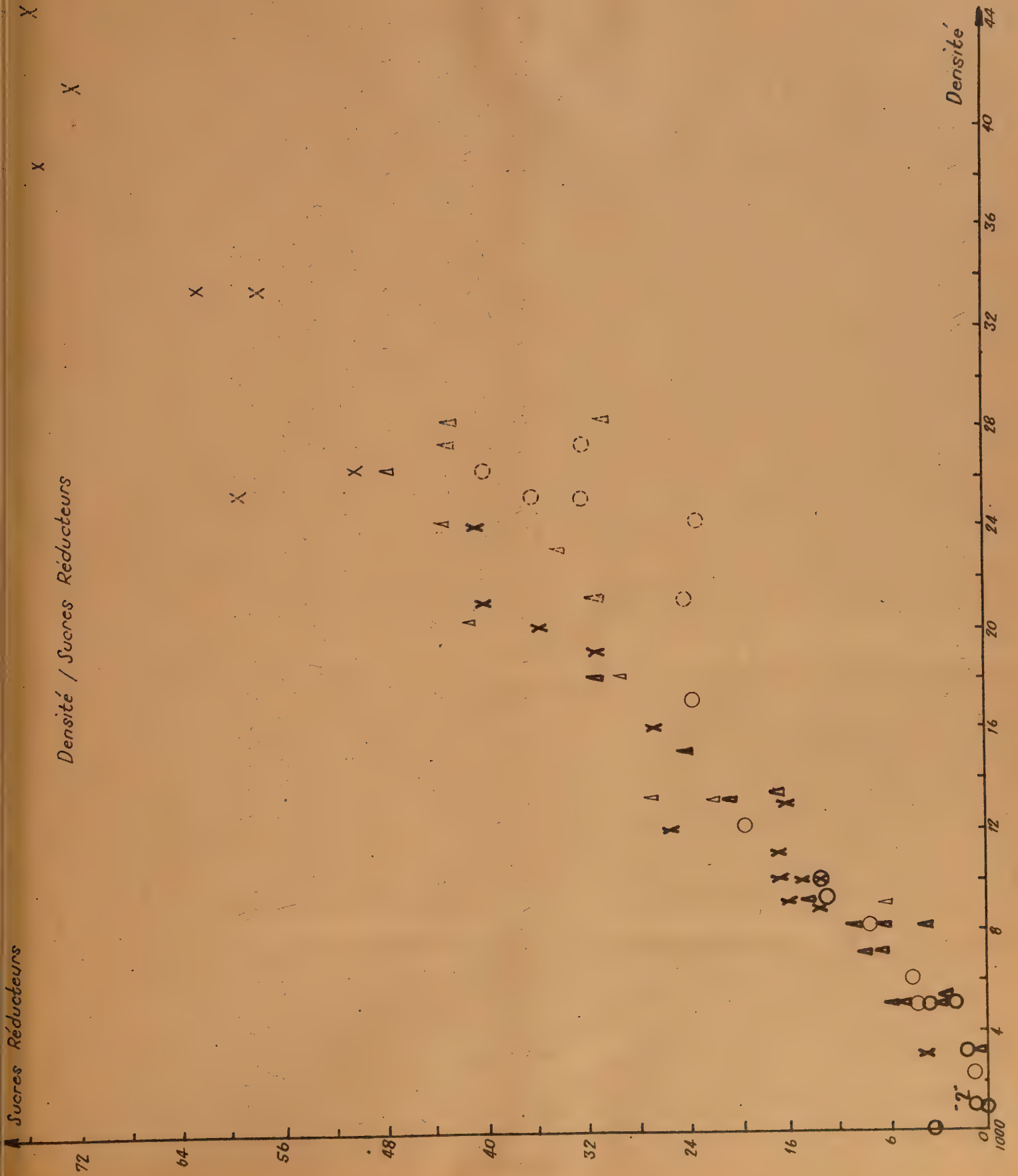


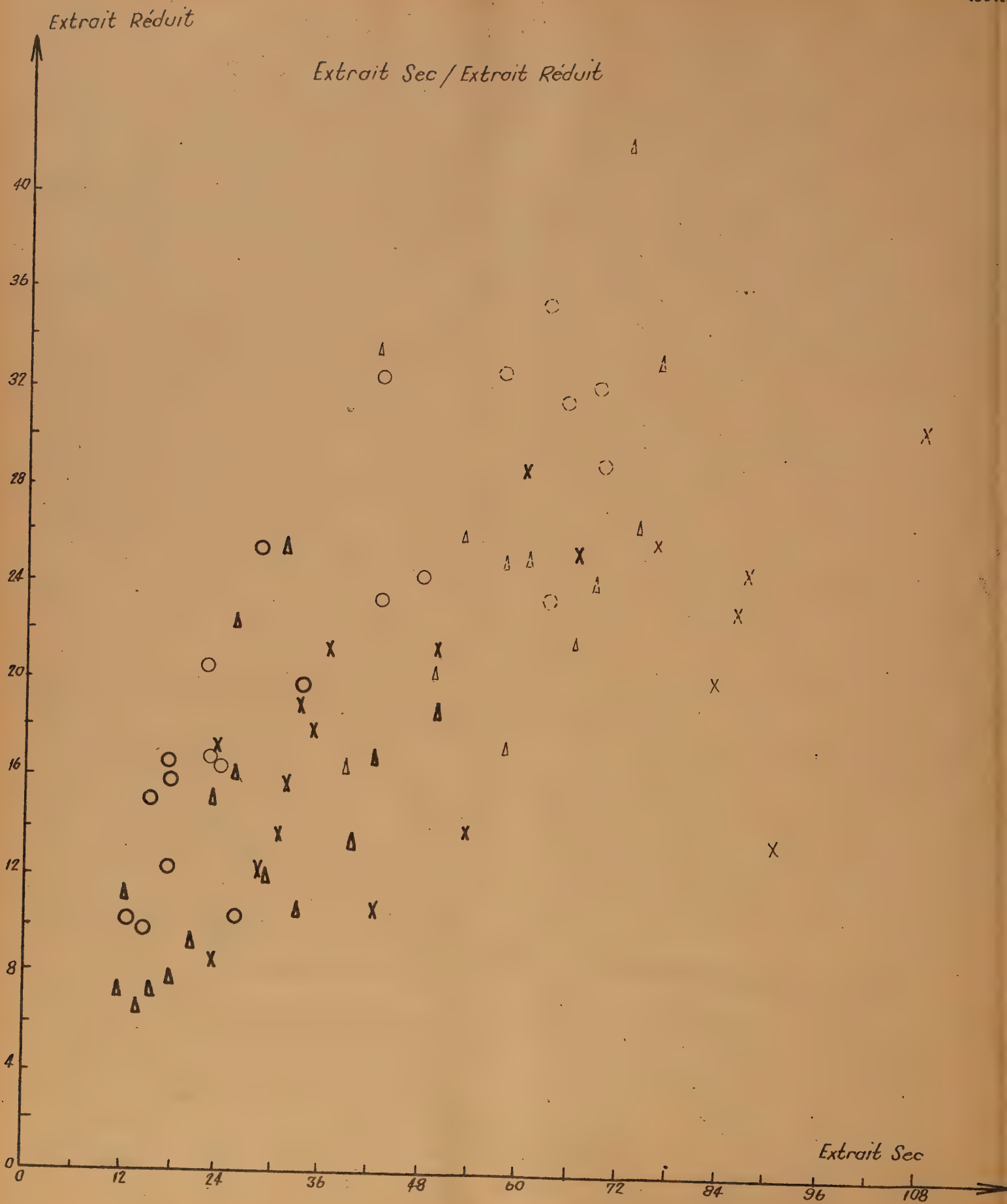


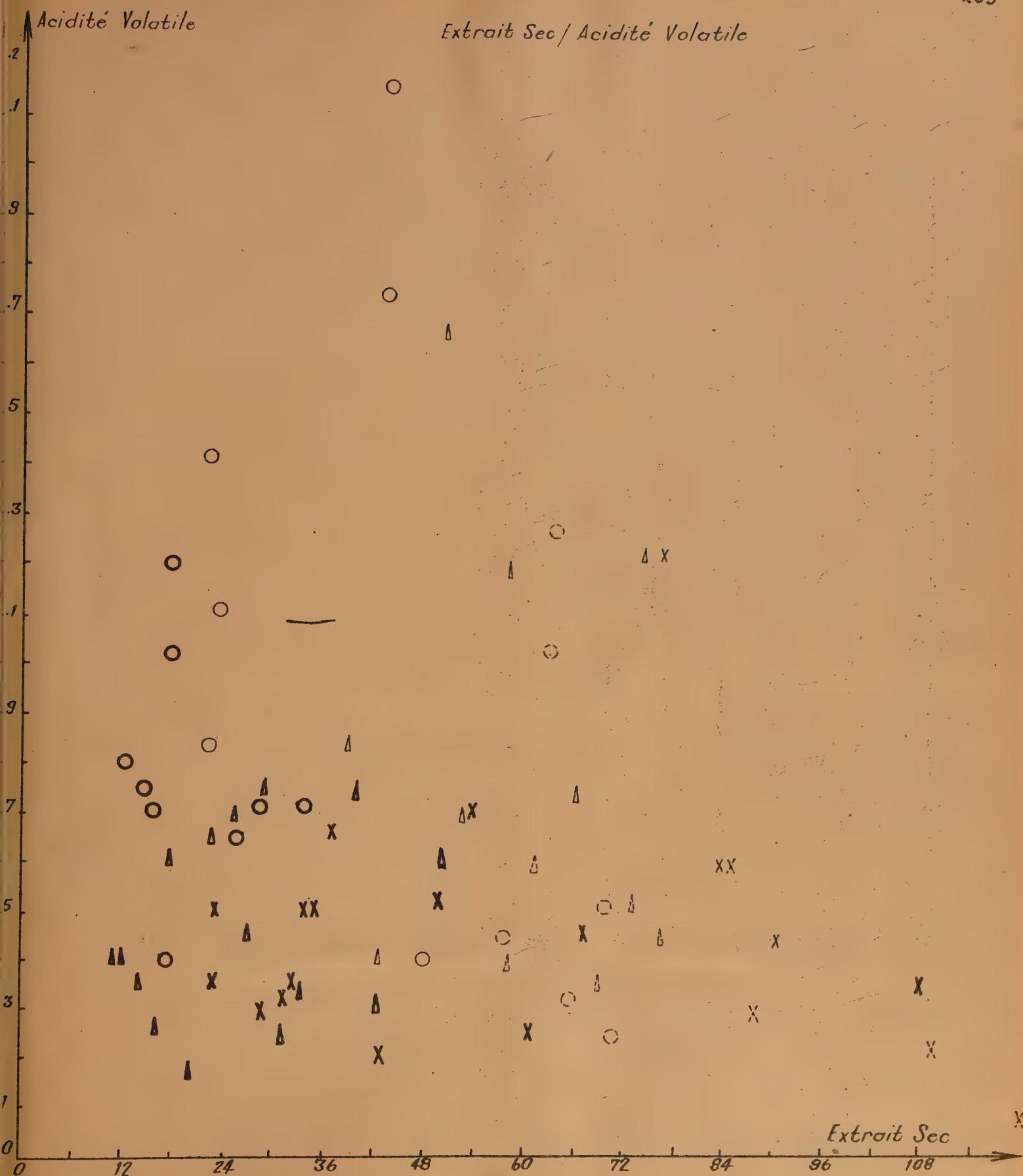
Sucres Réducteurs

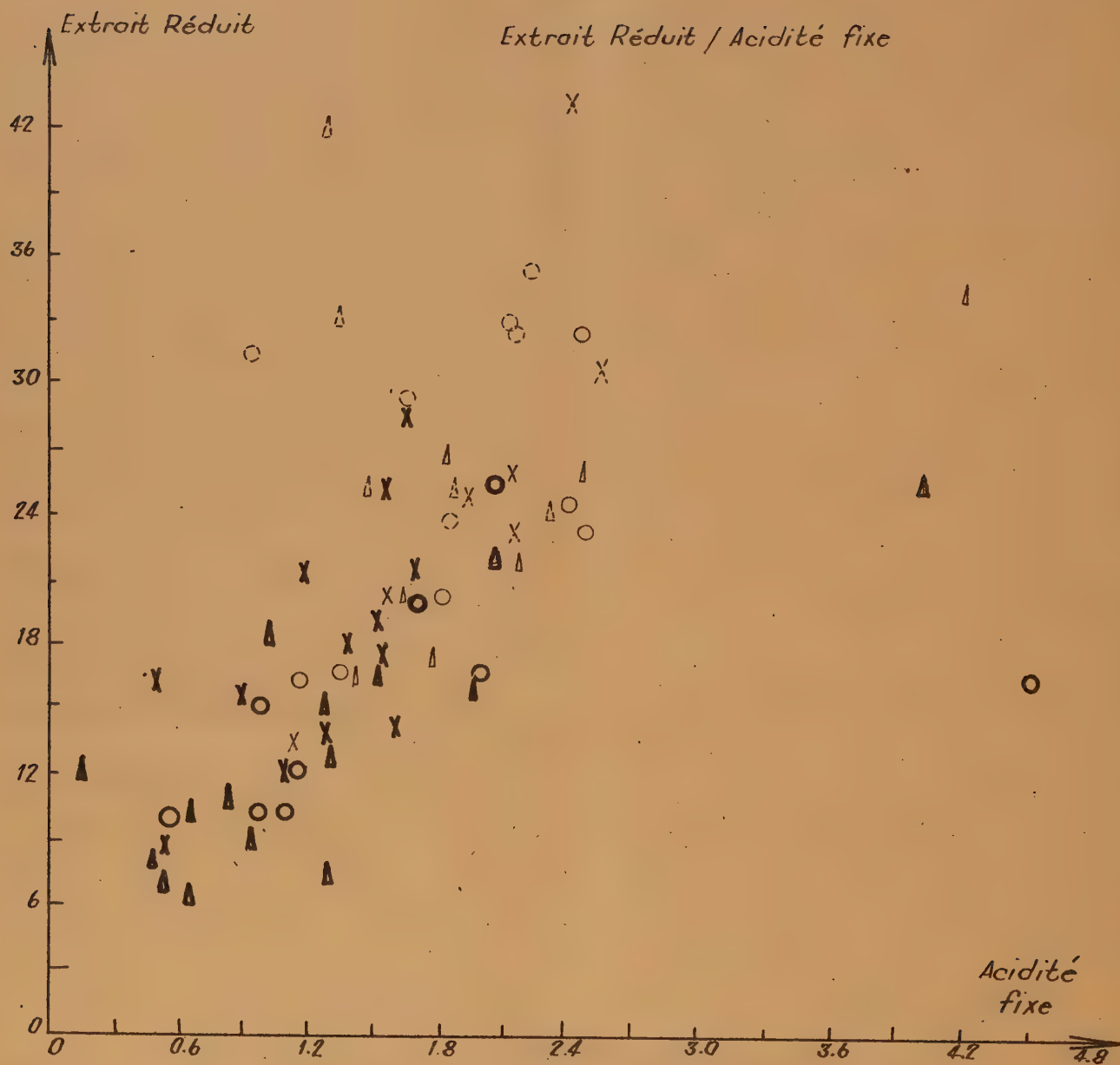
Densité / Sucres Réducteurs

Densité

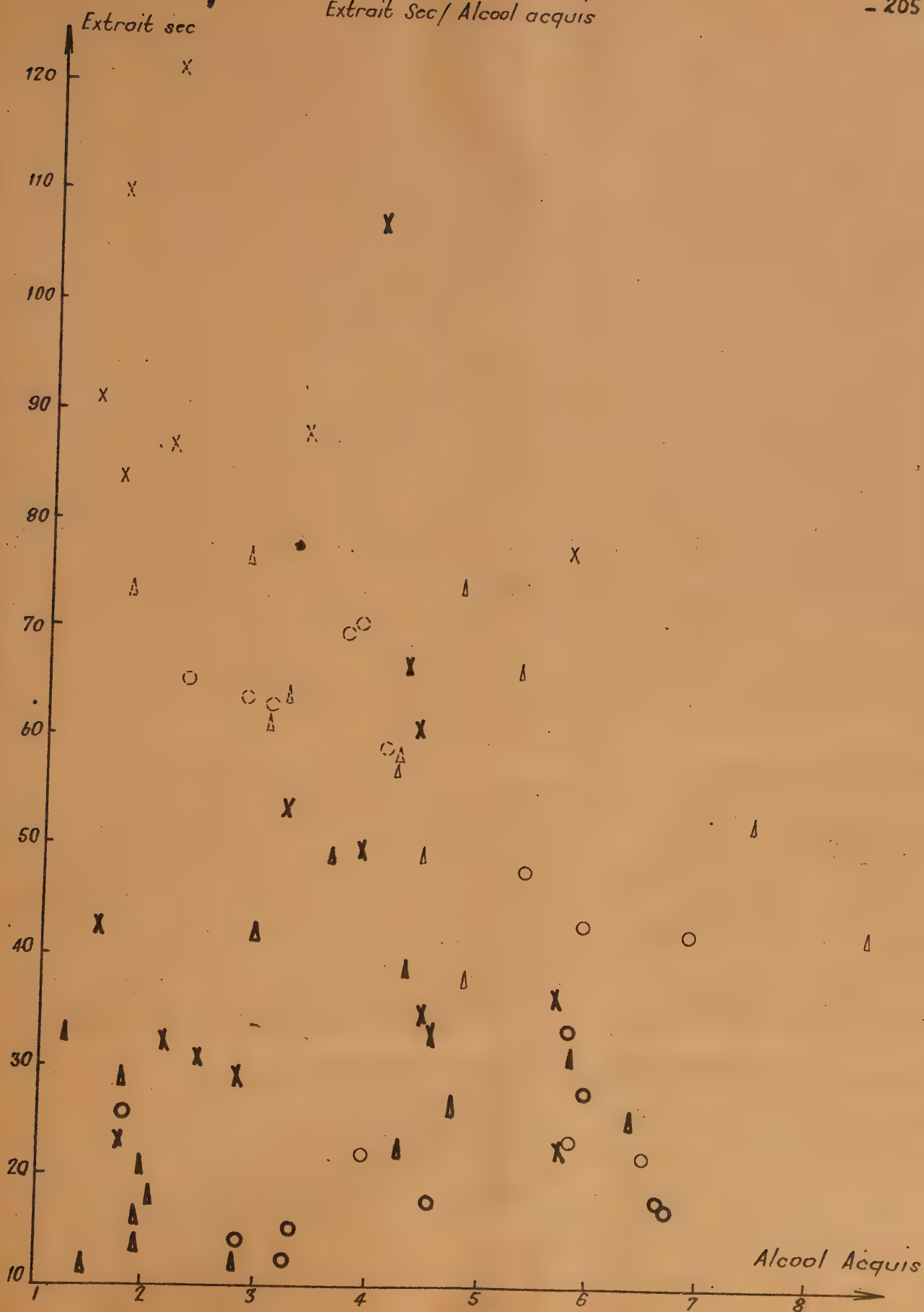




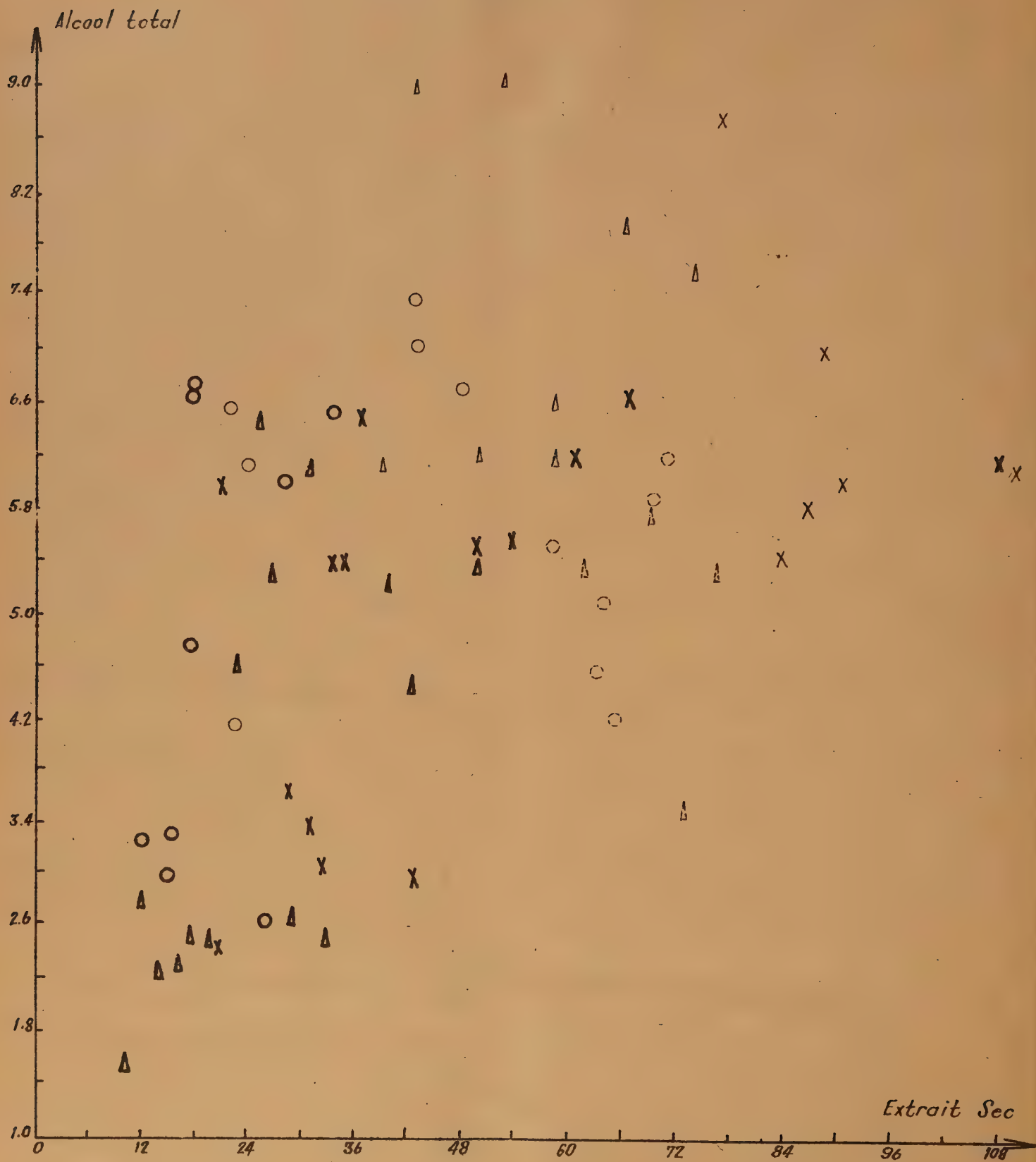


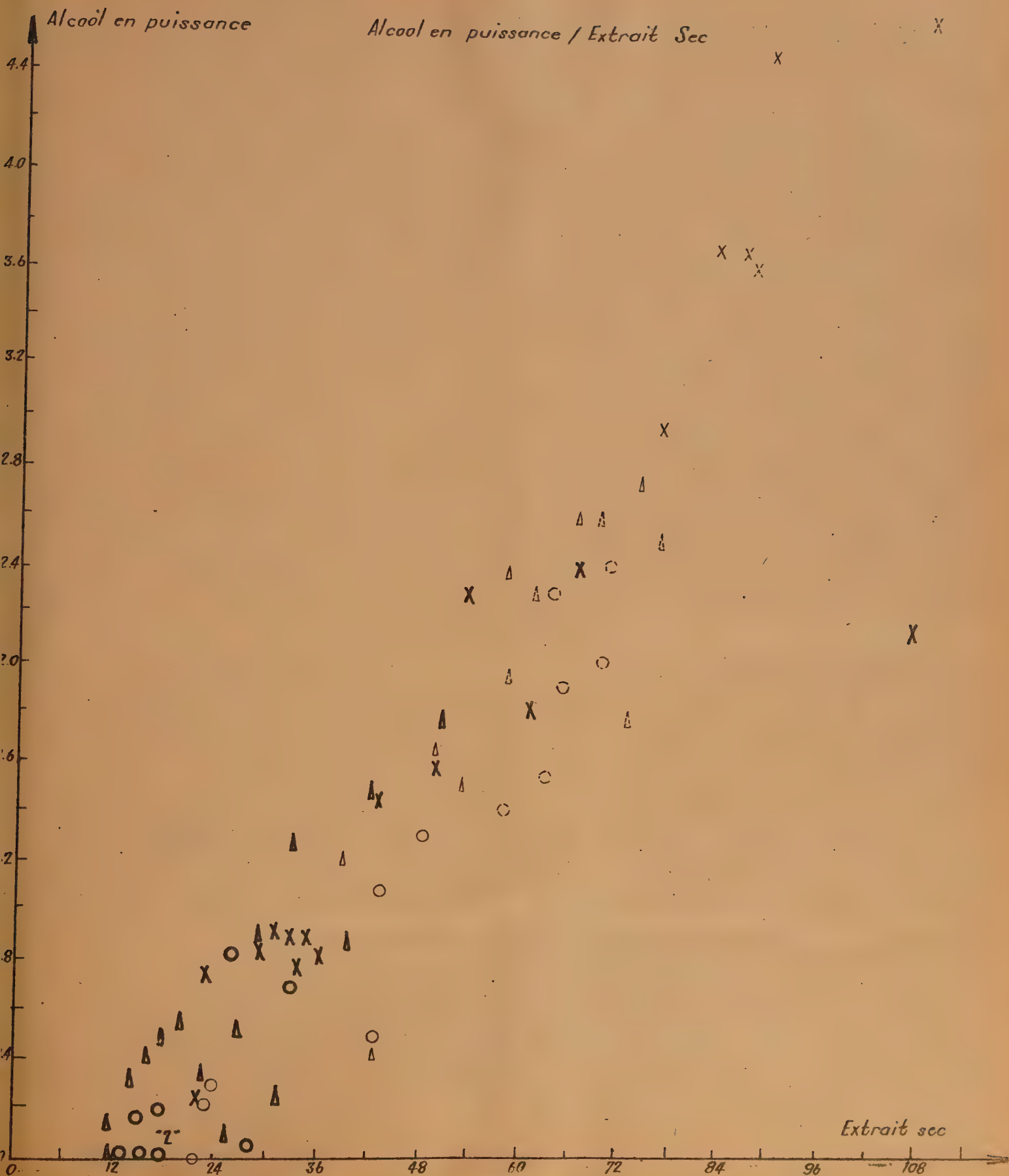


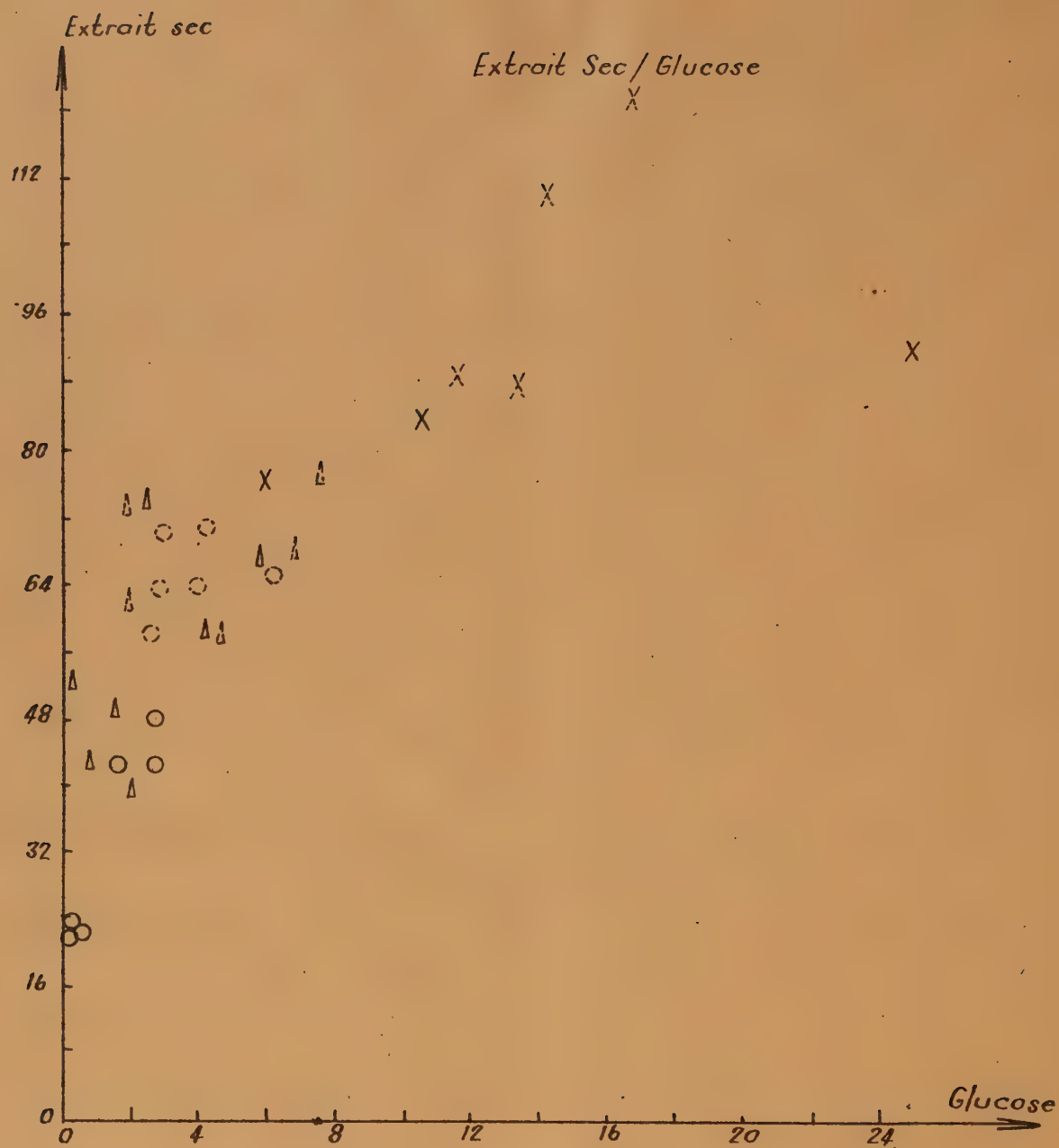
Extrait Sec/ Alcool acquis

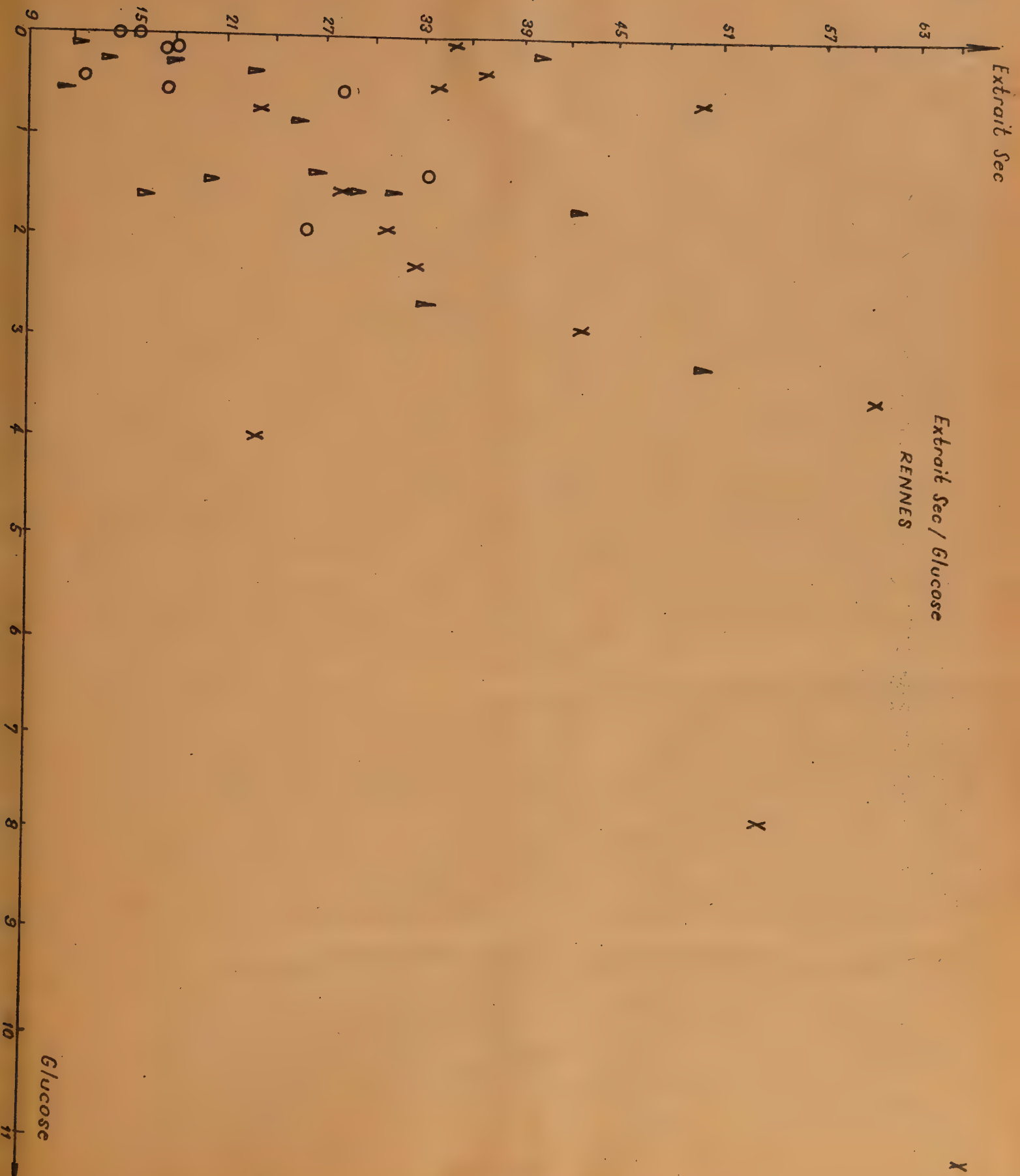


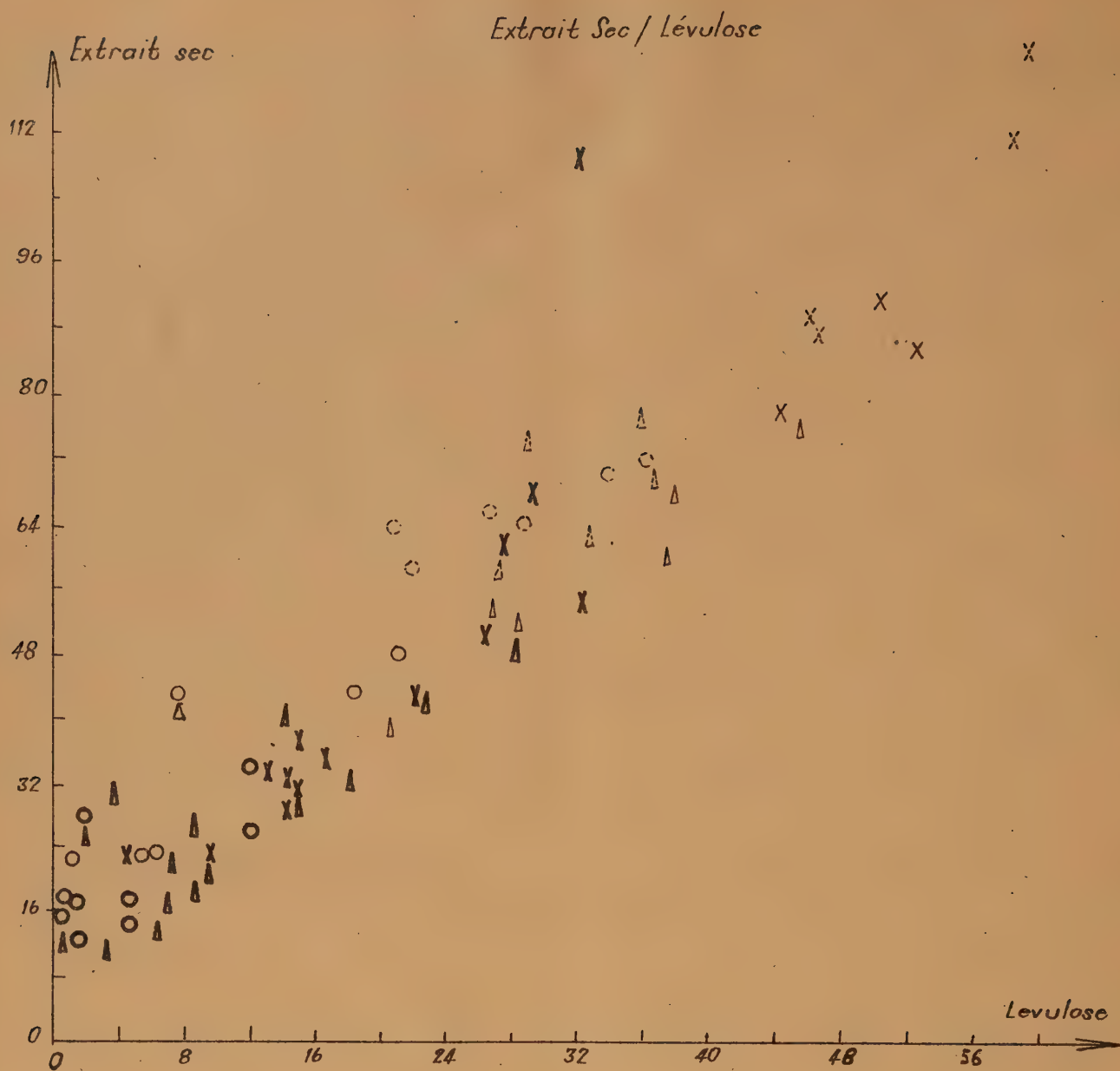
Extrait Sec / Alcool Total

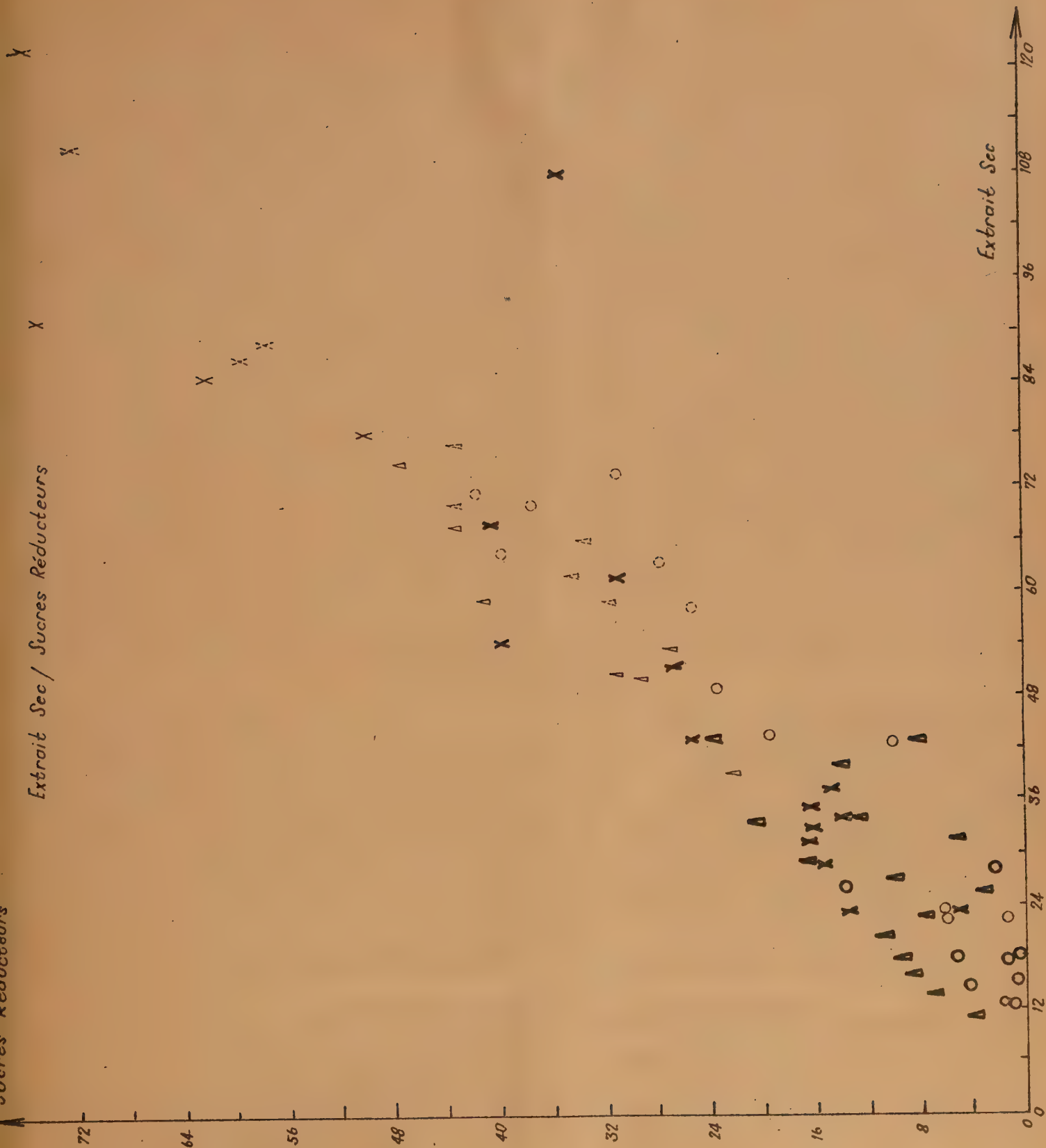


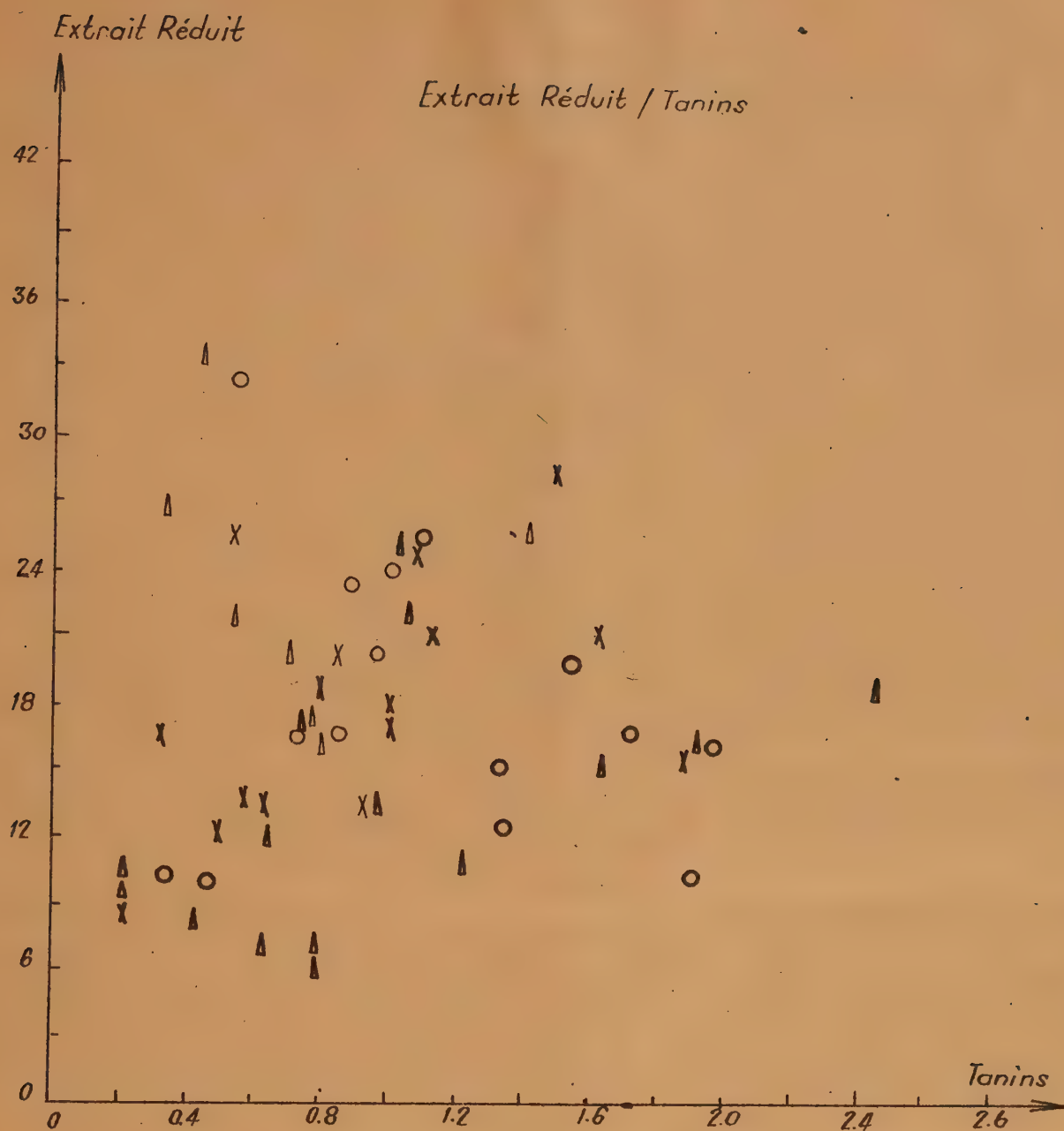


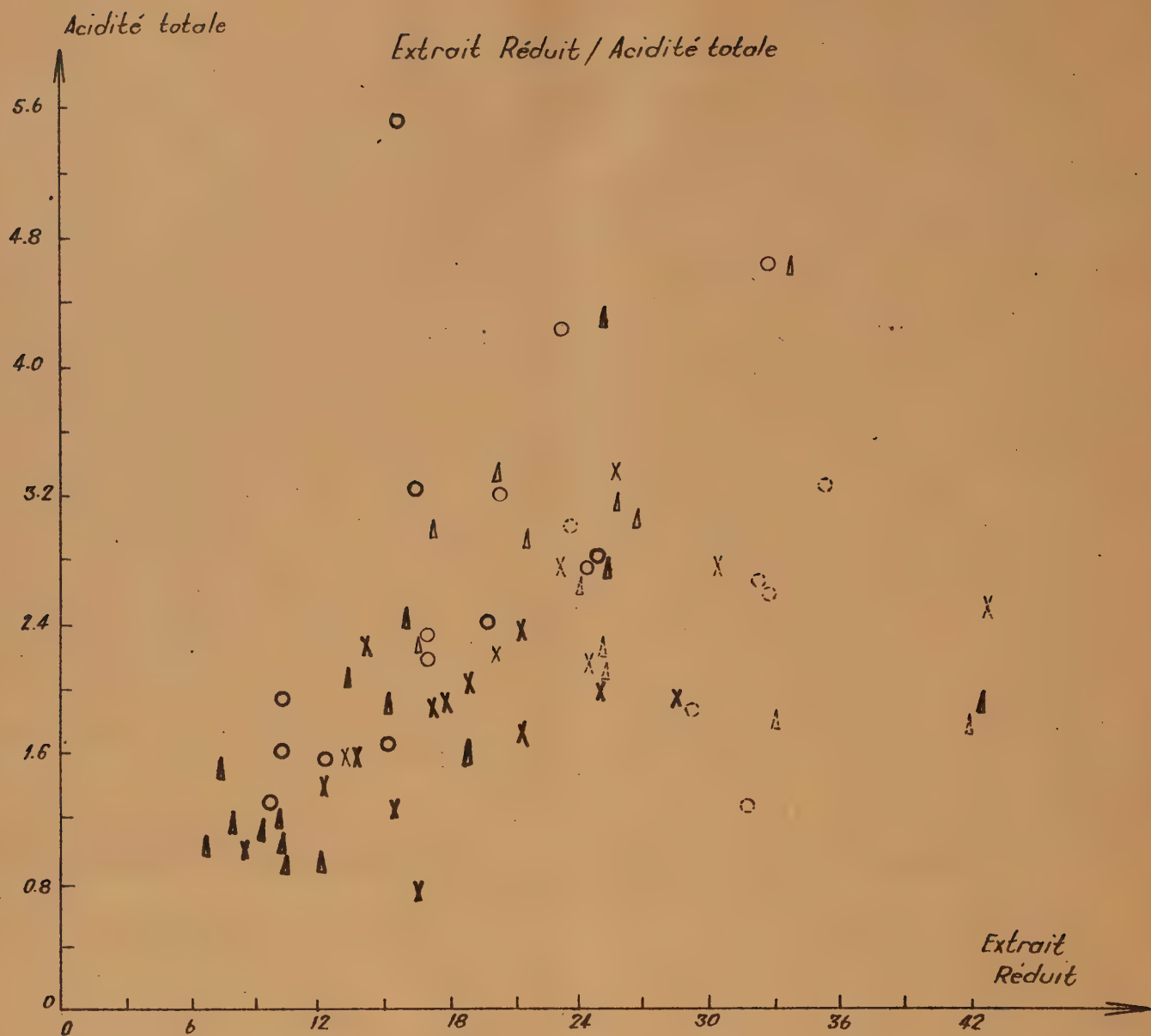


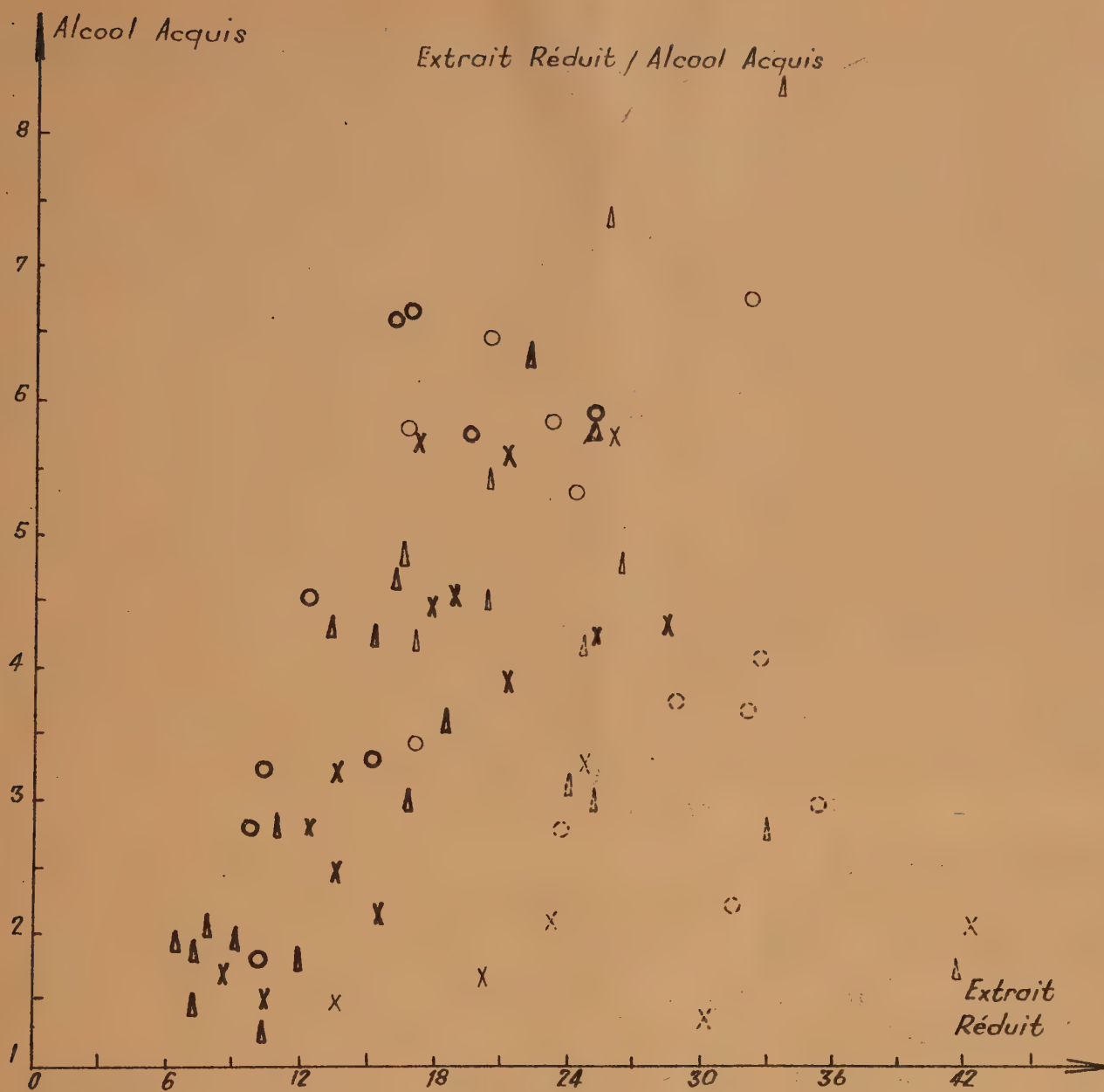


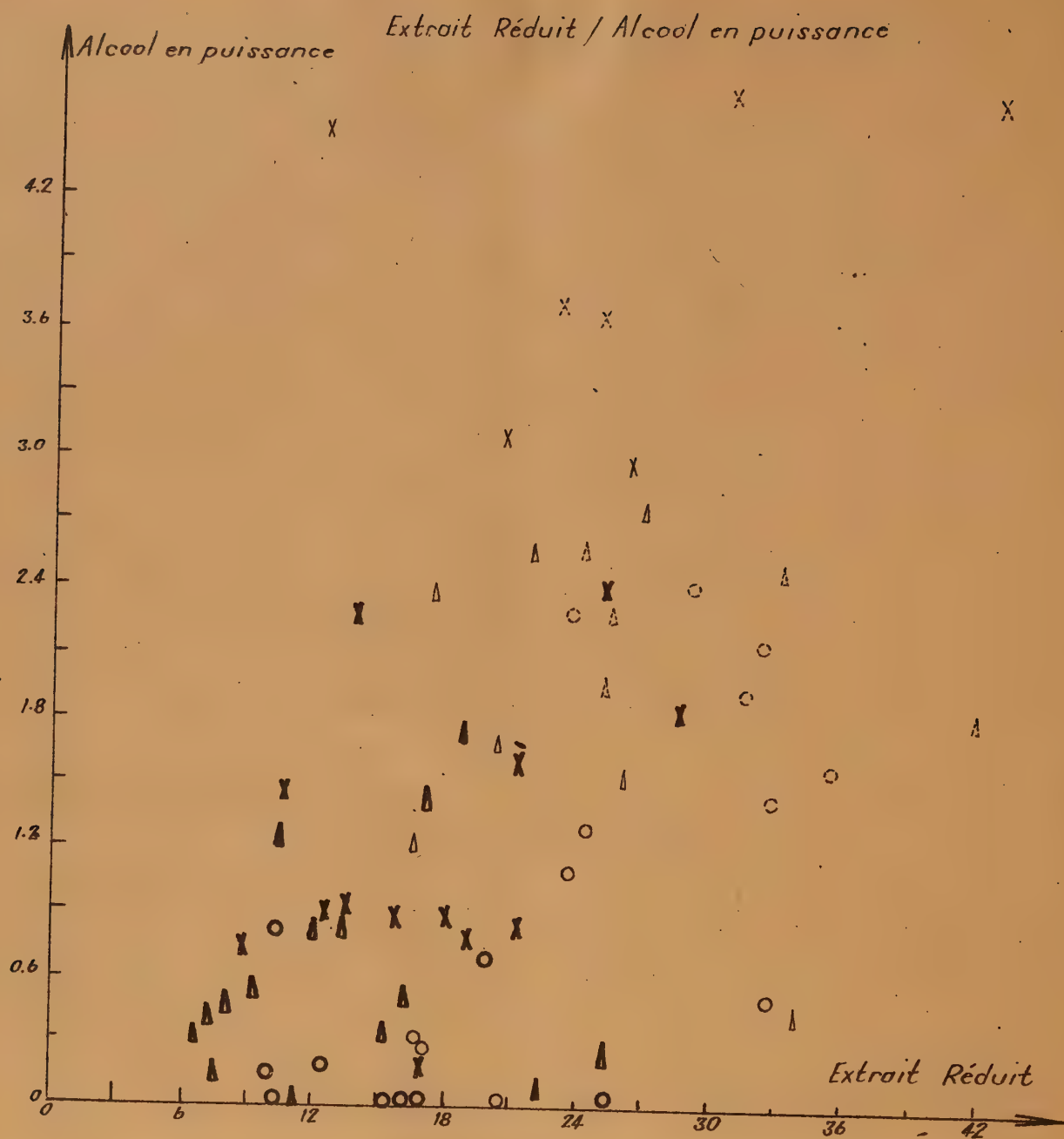


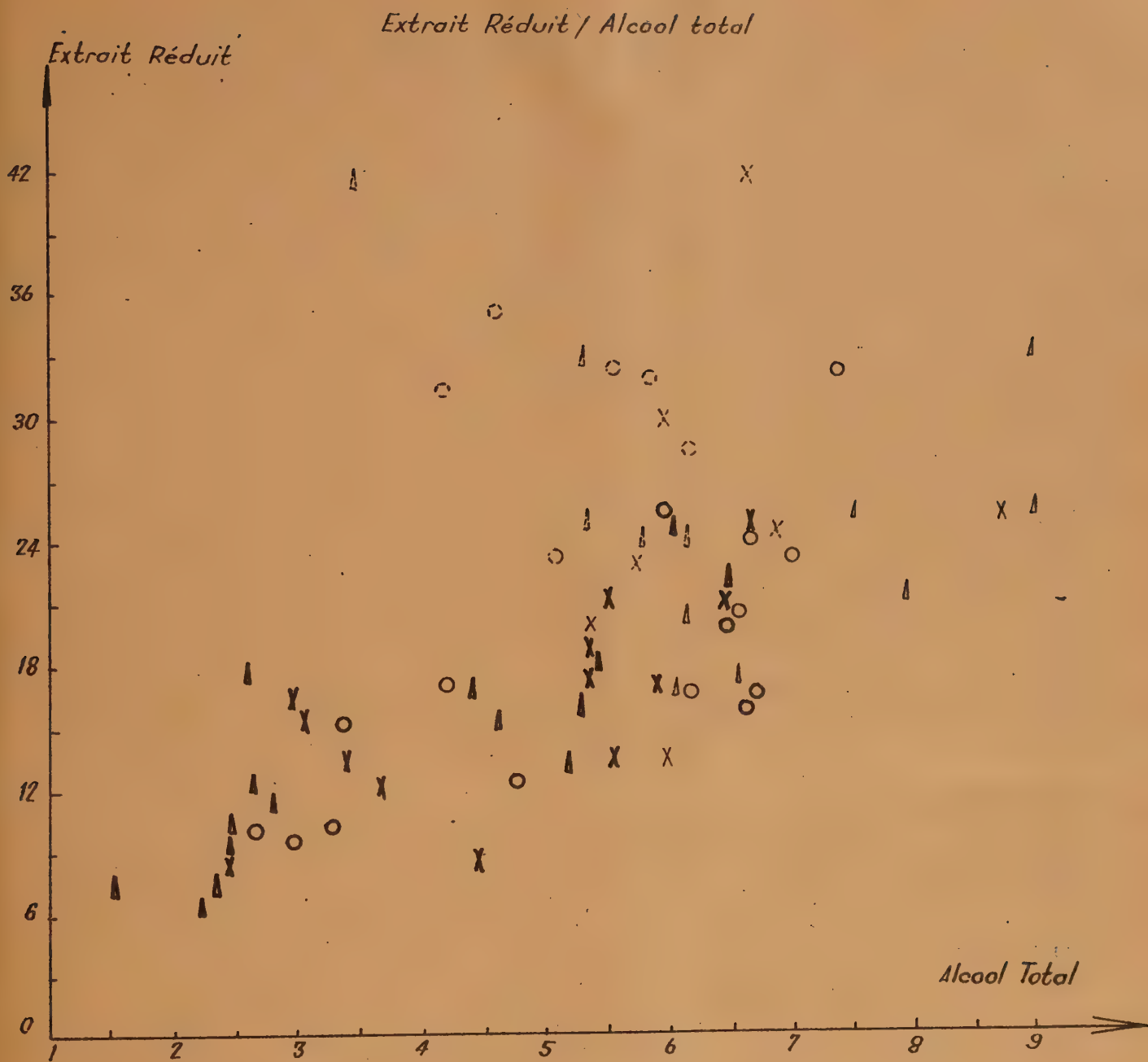


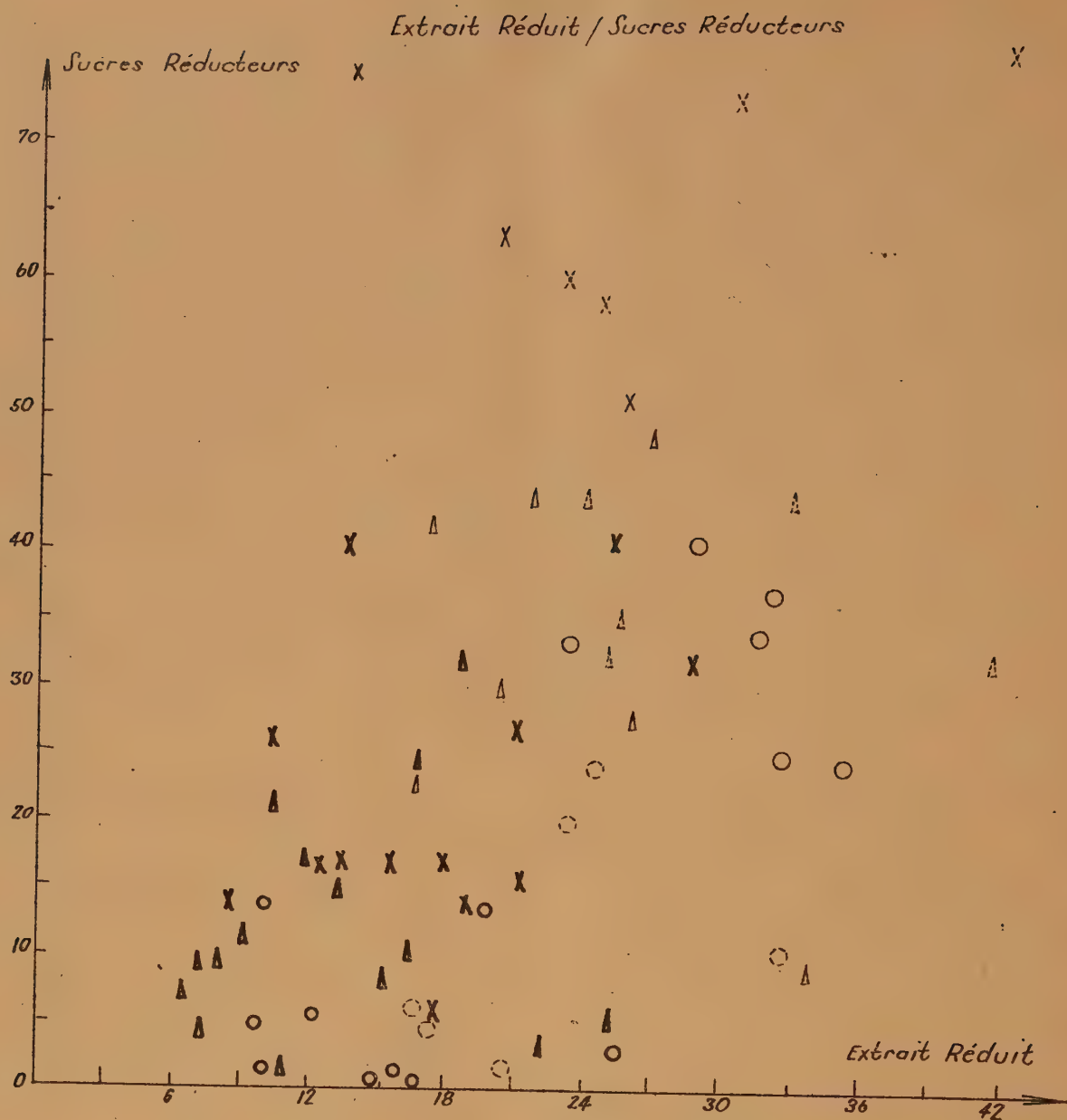




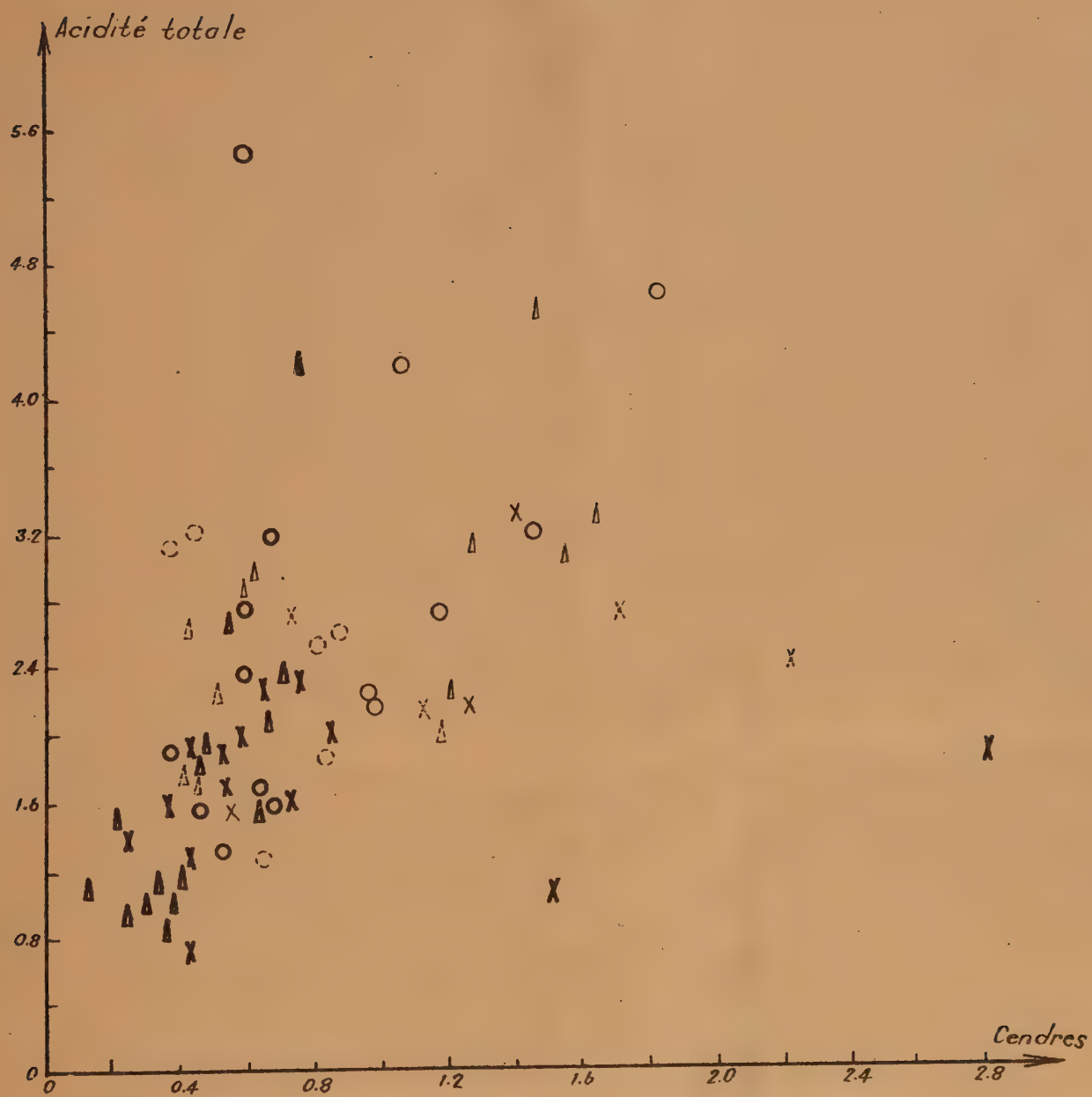


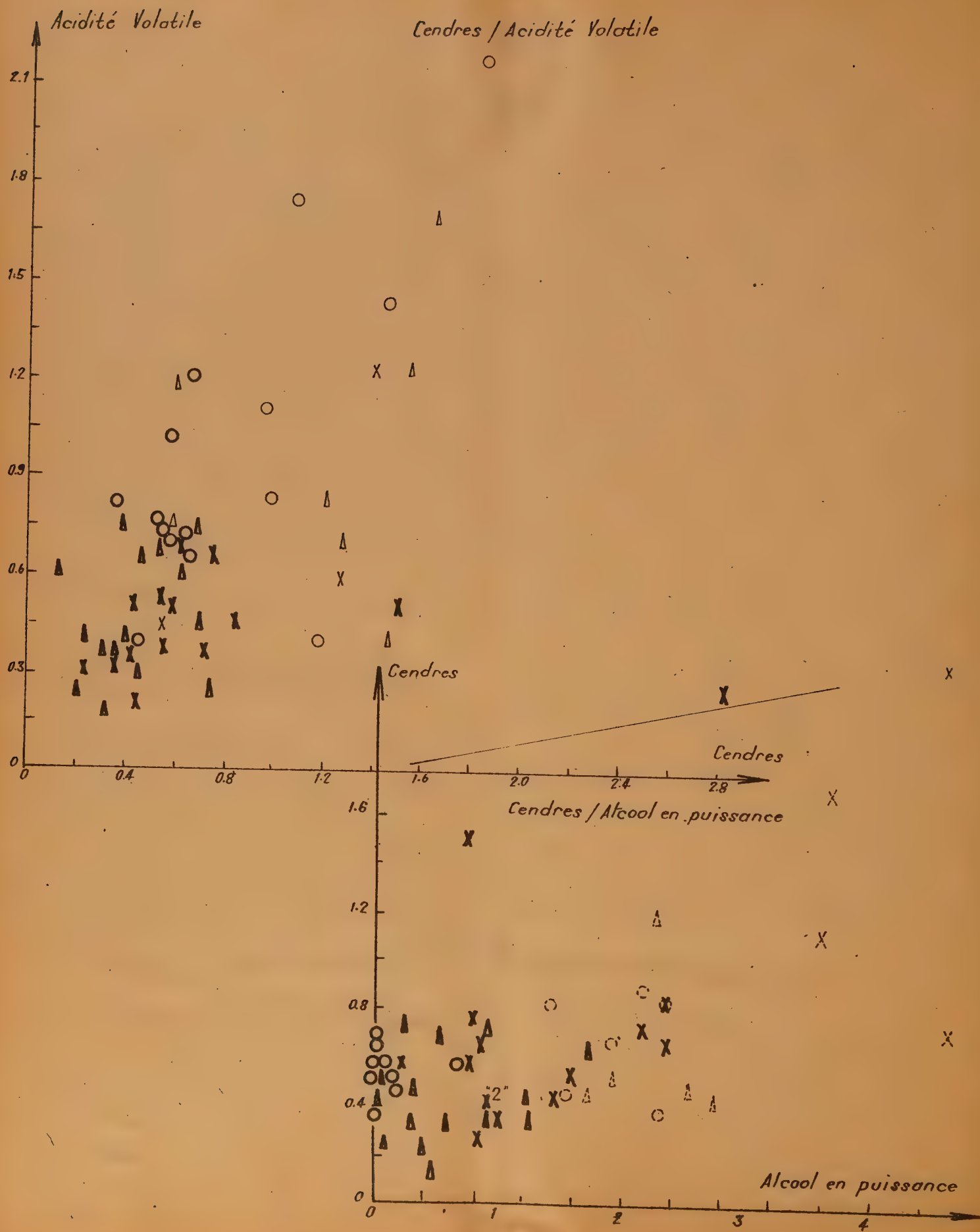


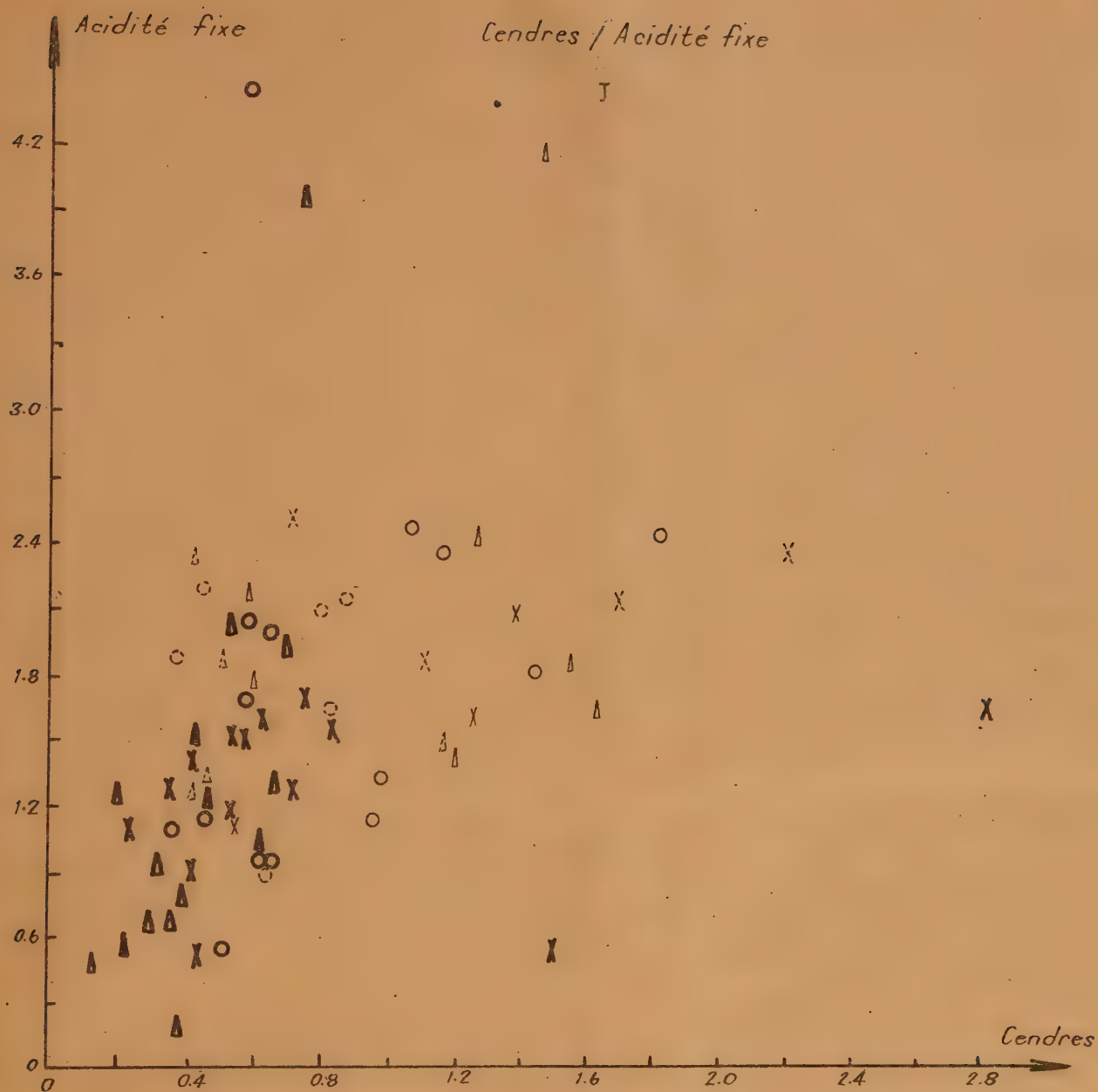


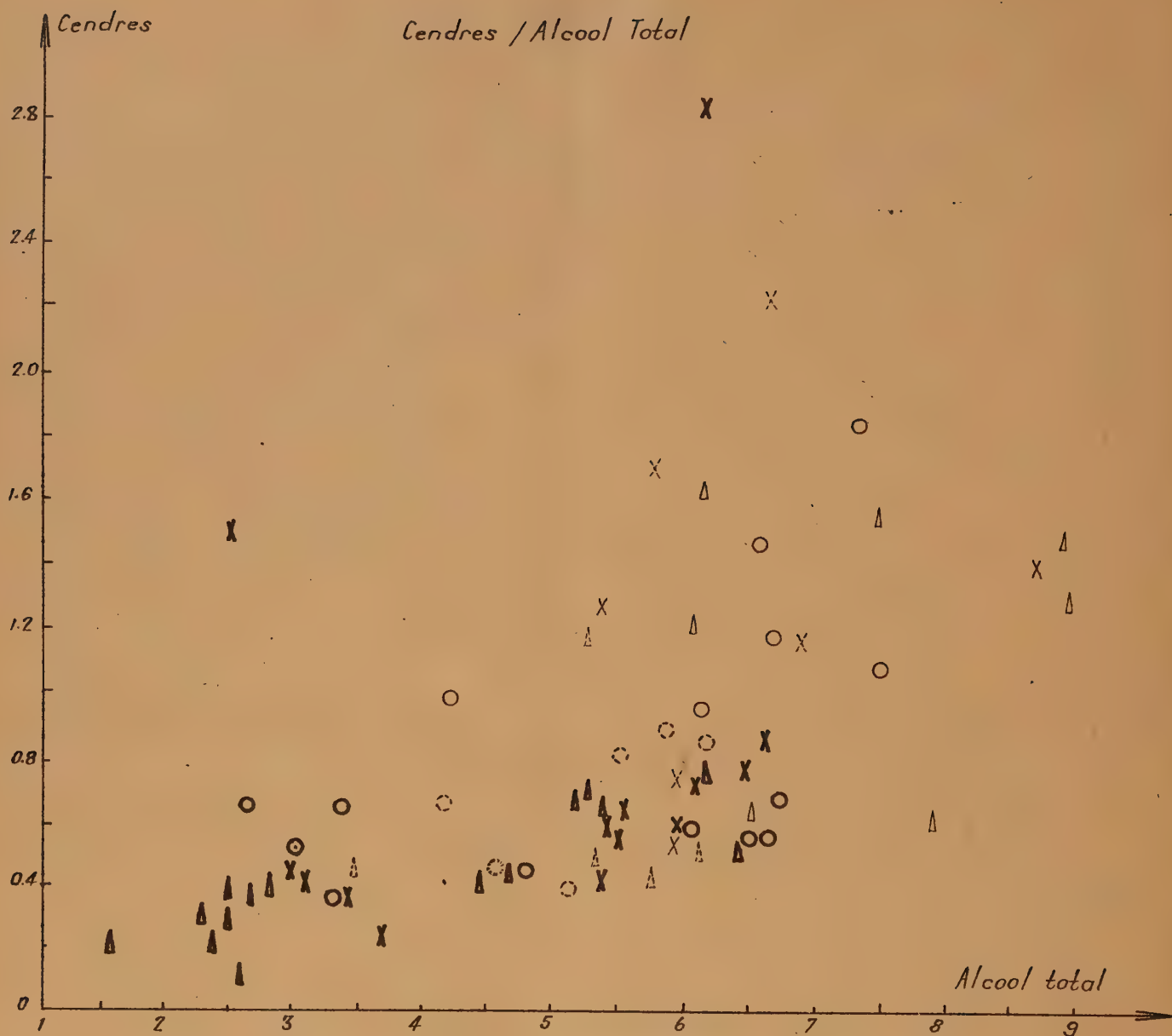


Cendres / Acidité totale

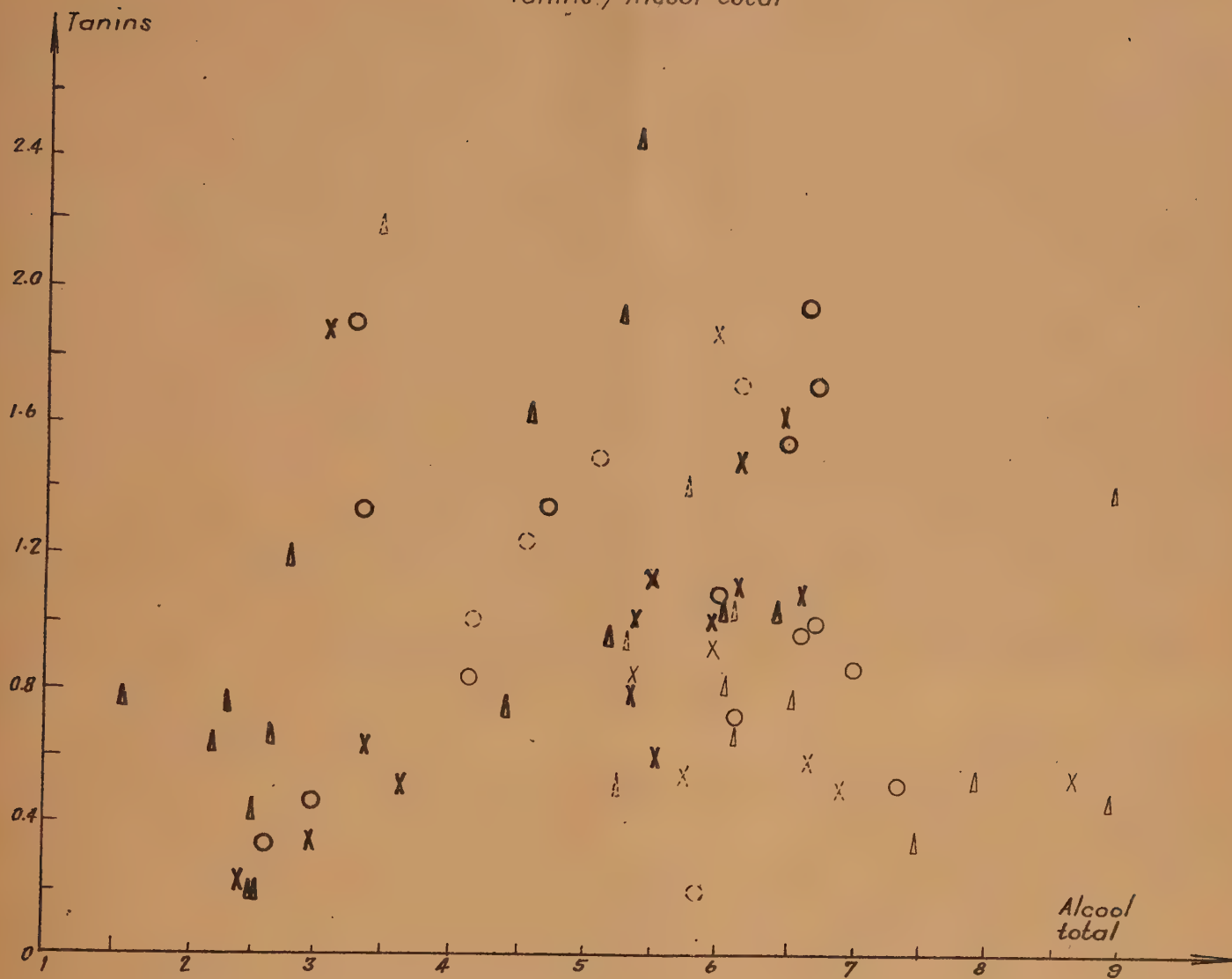


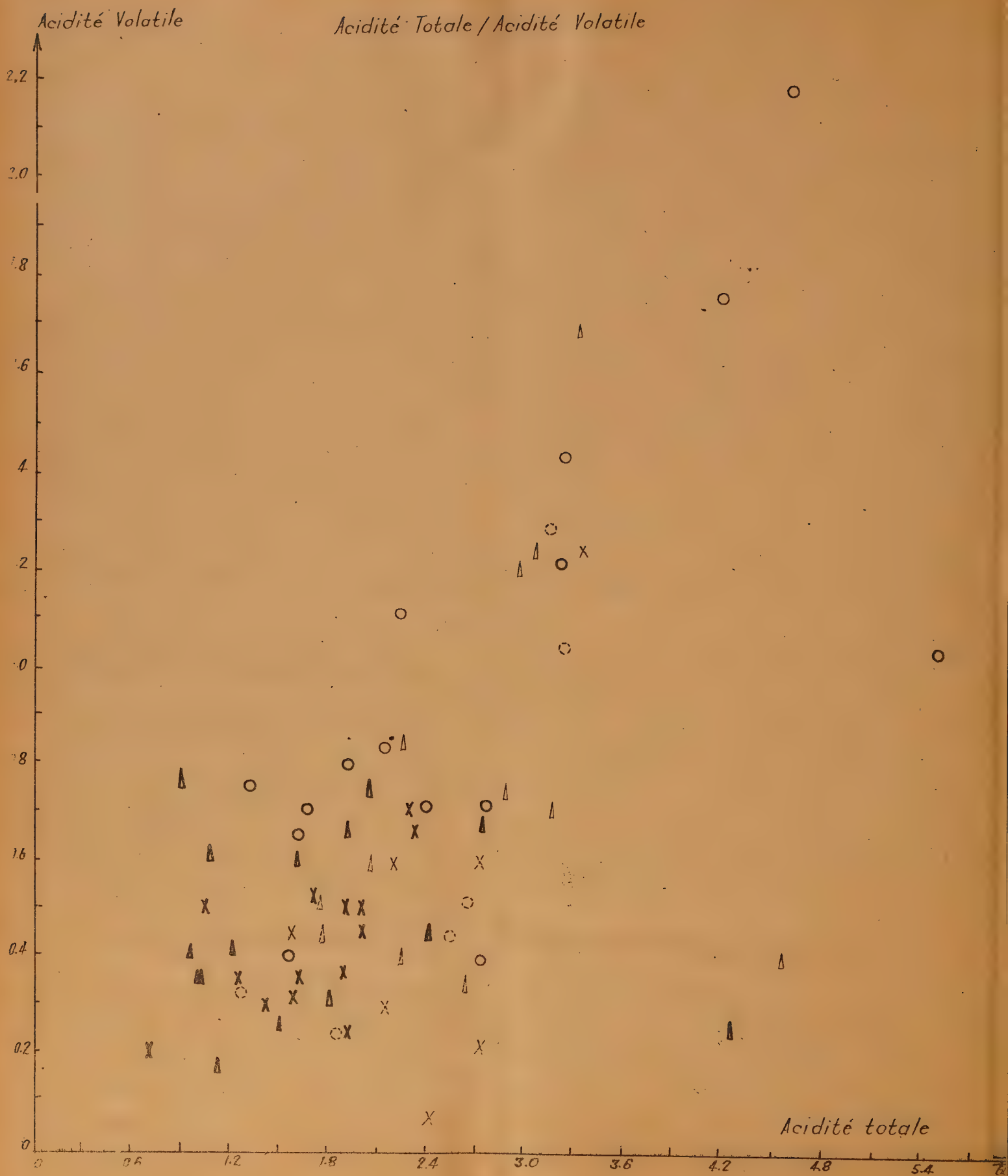


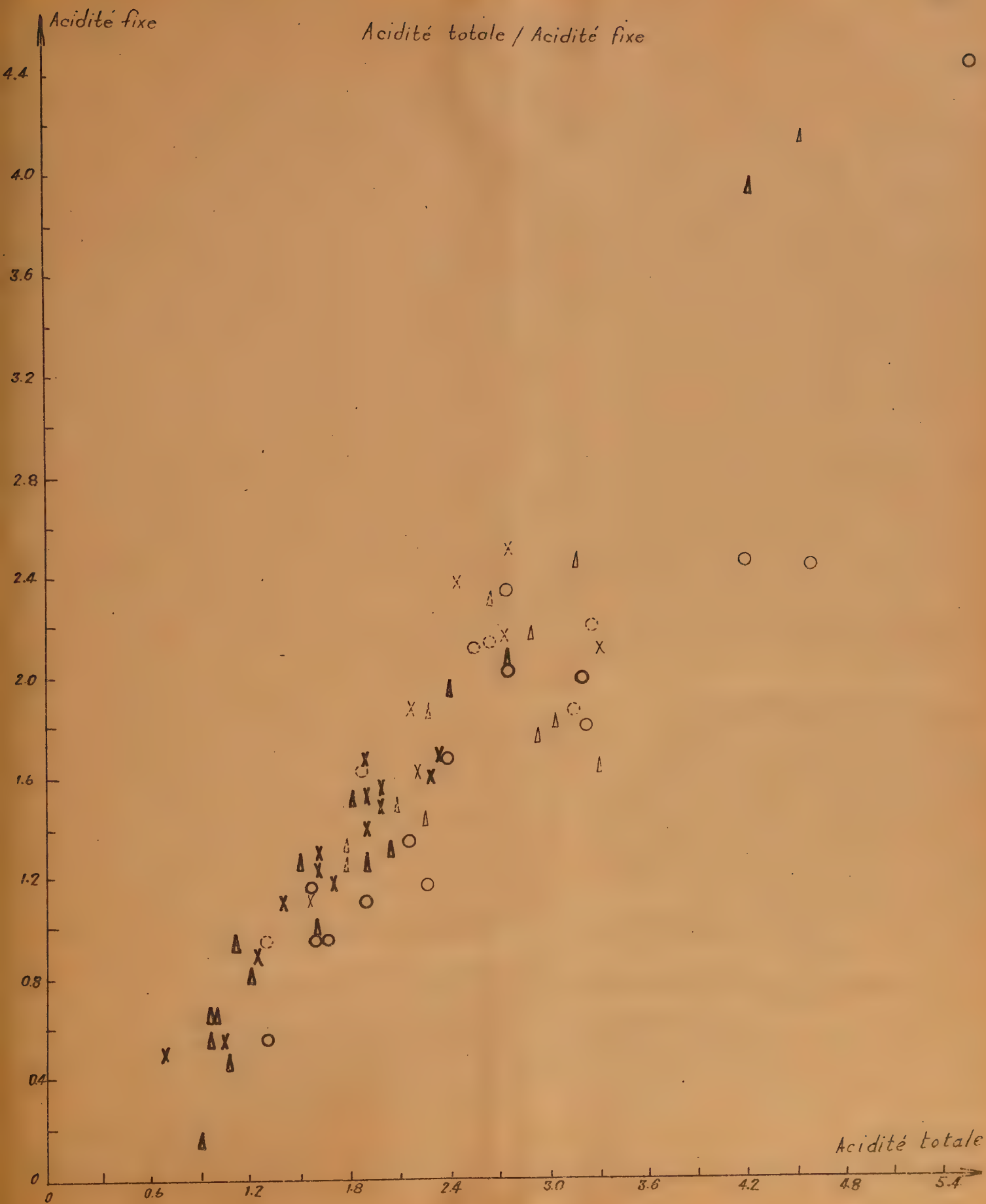


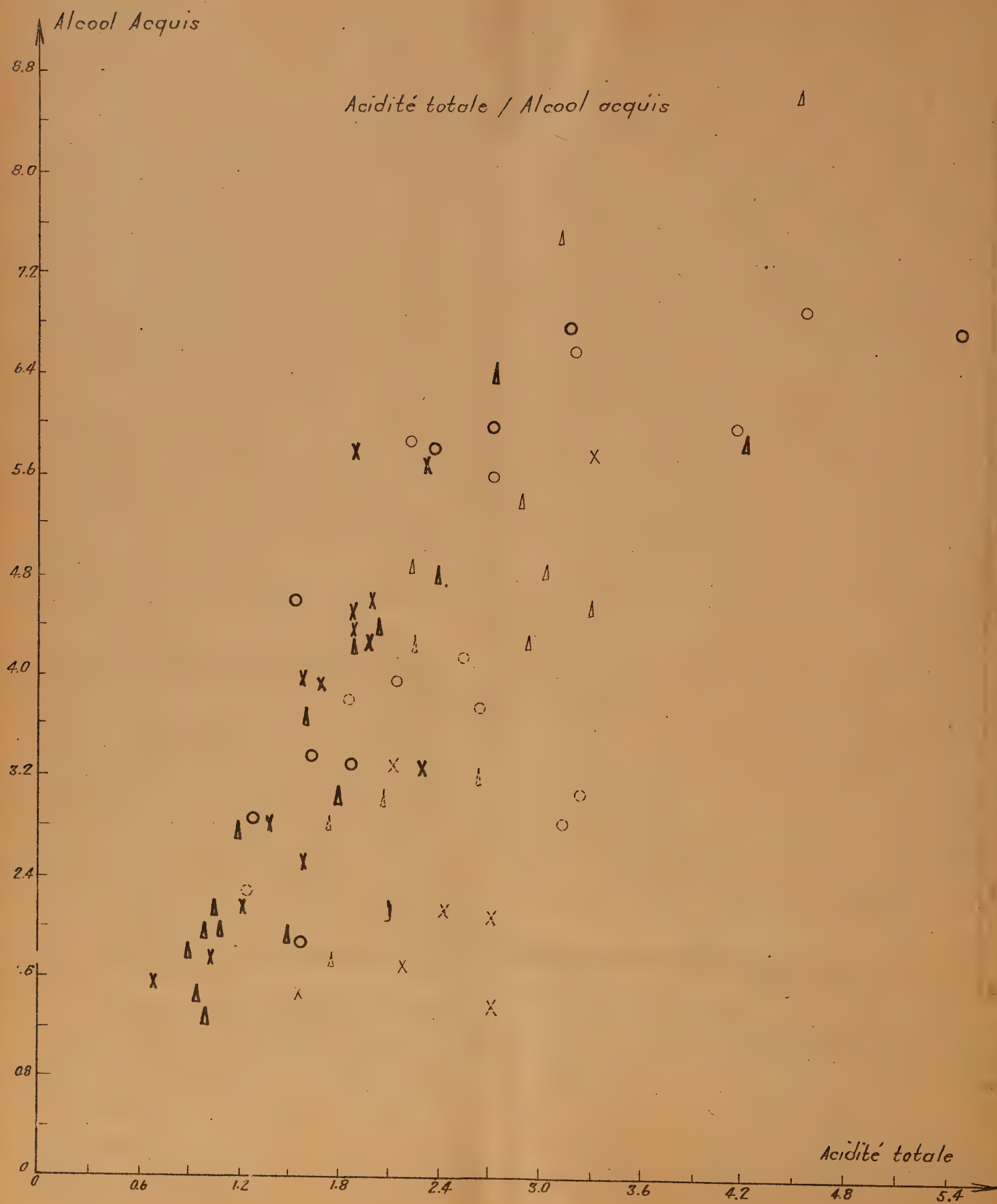


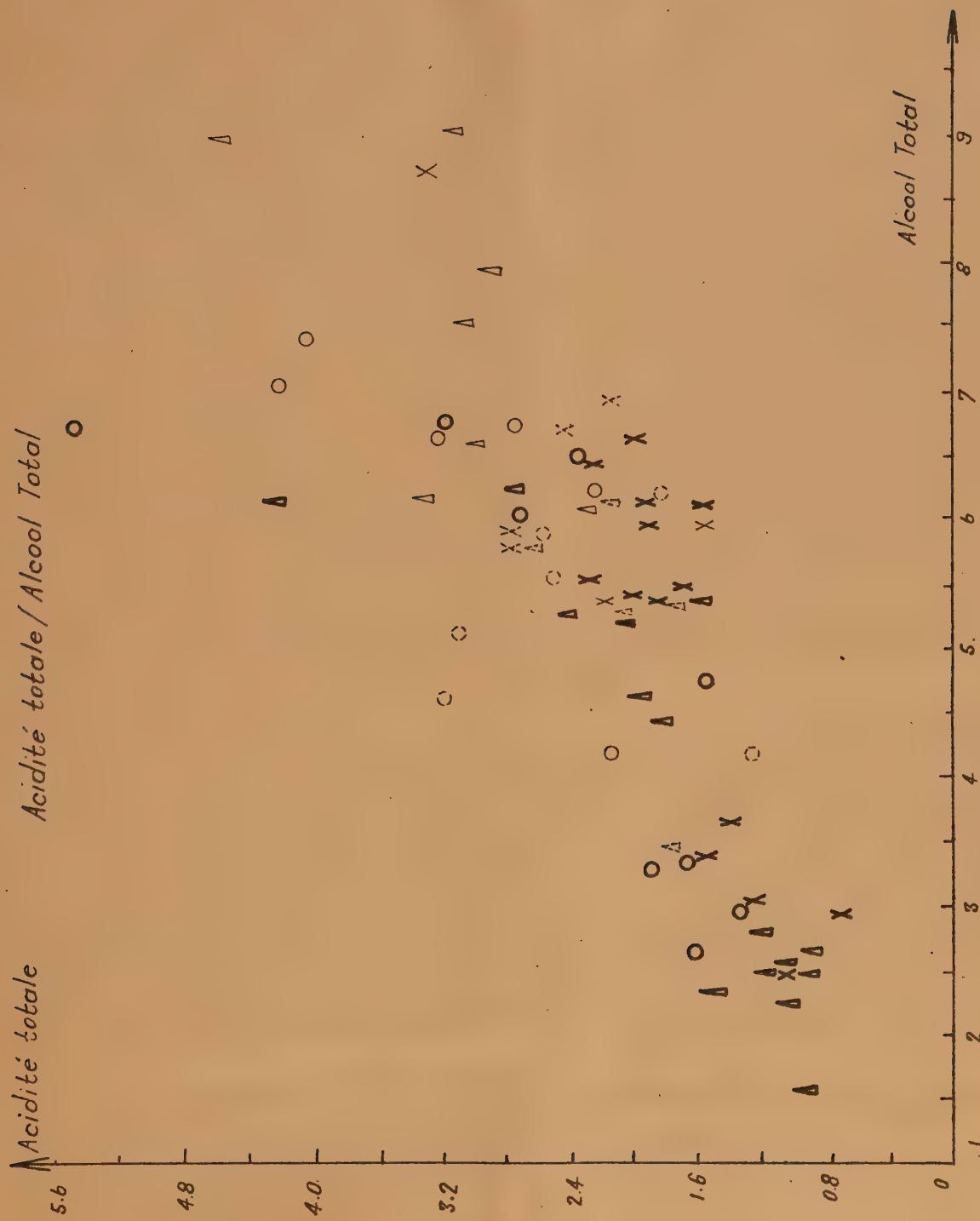
Tanins. / Alcool total

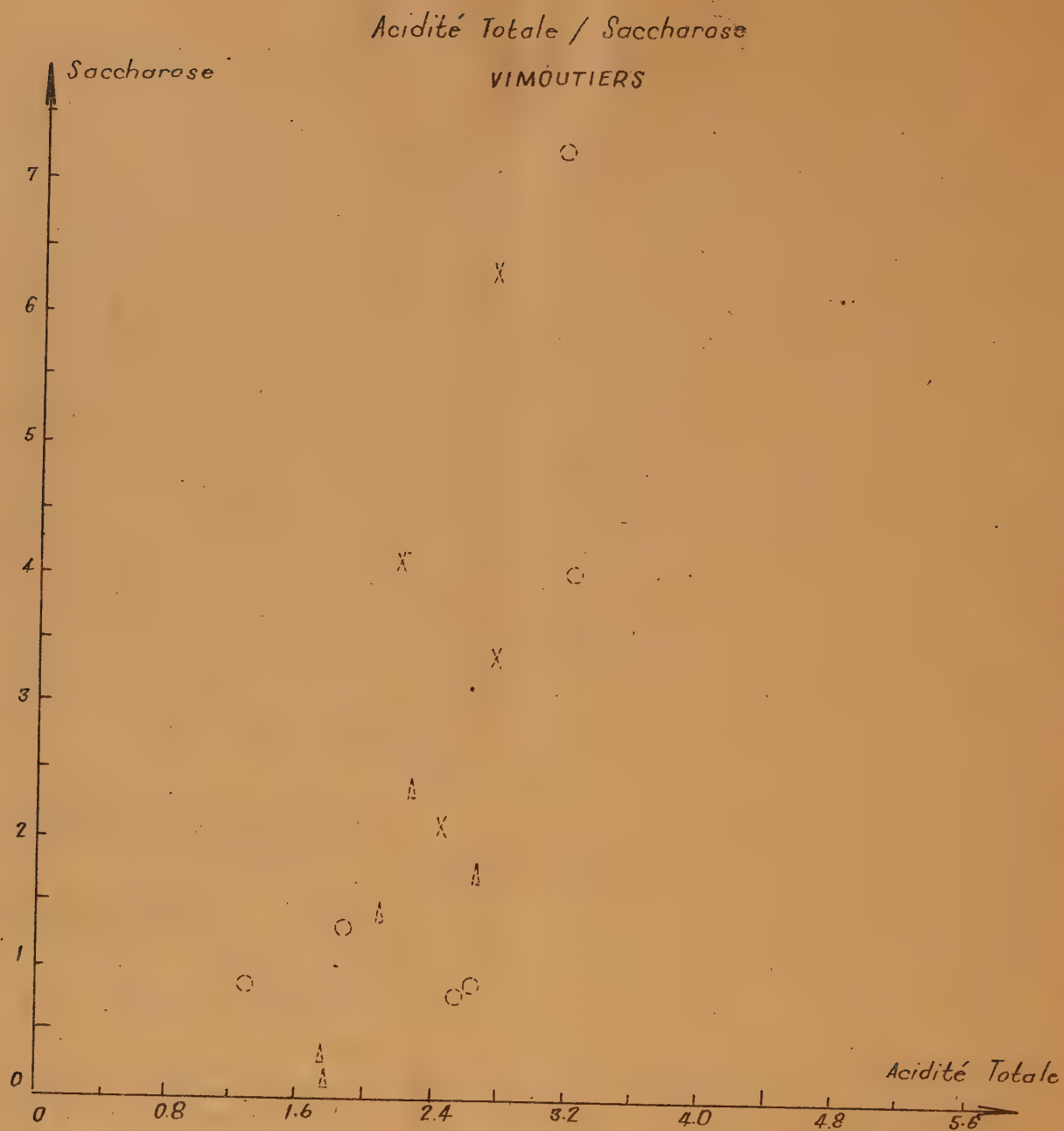






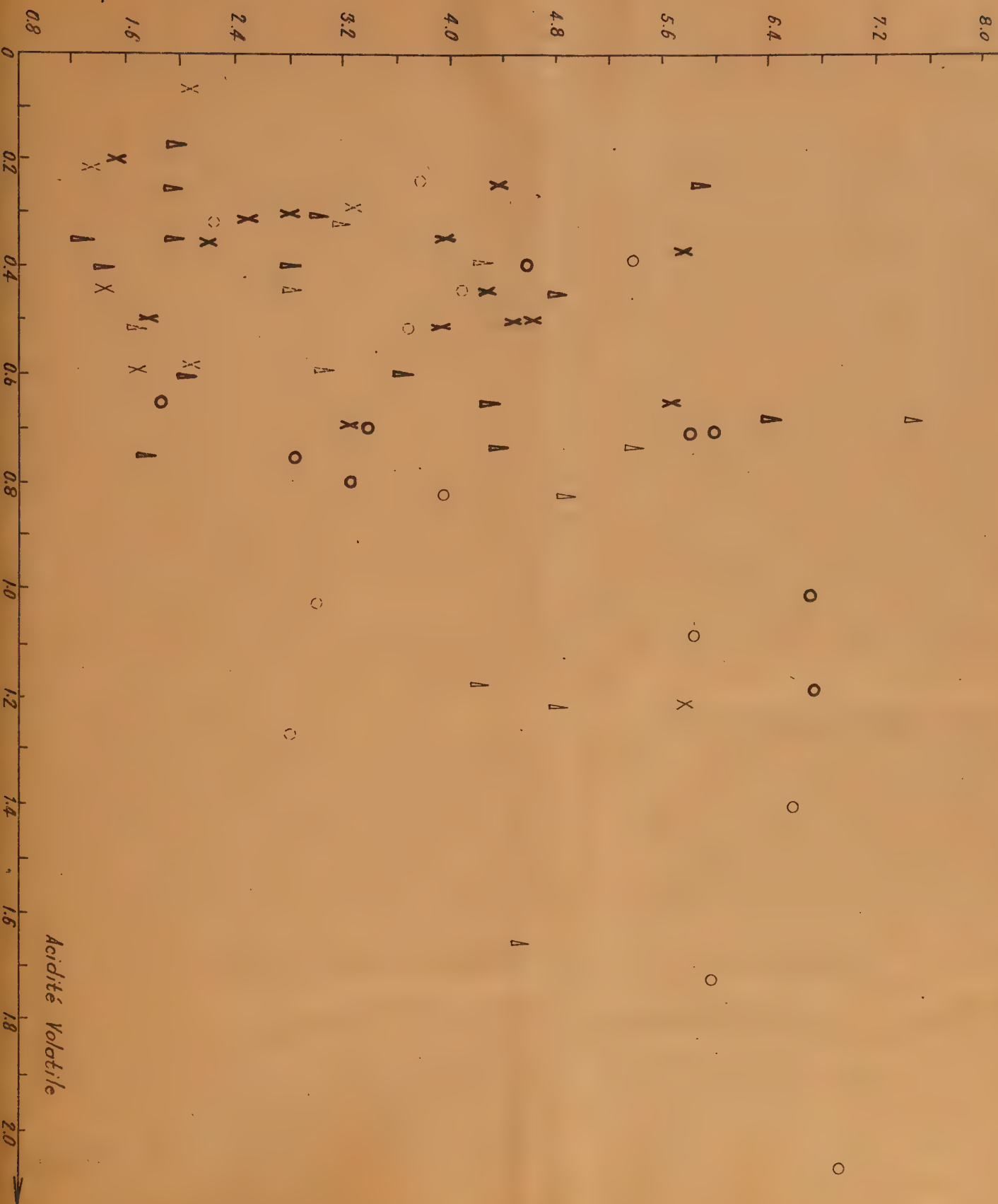


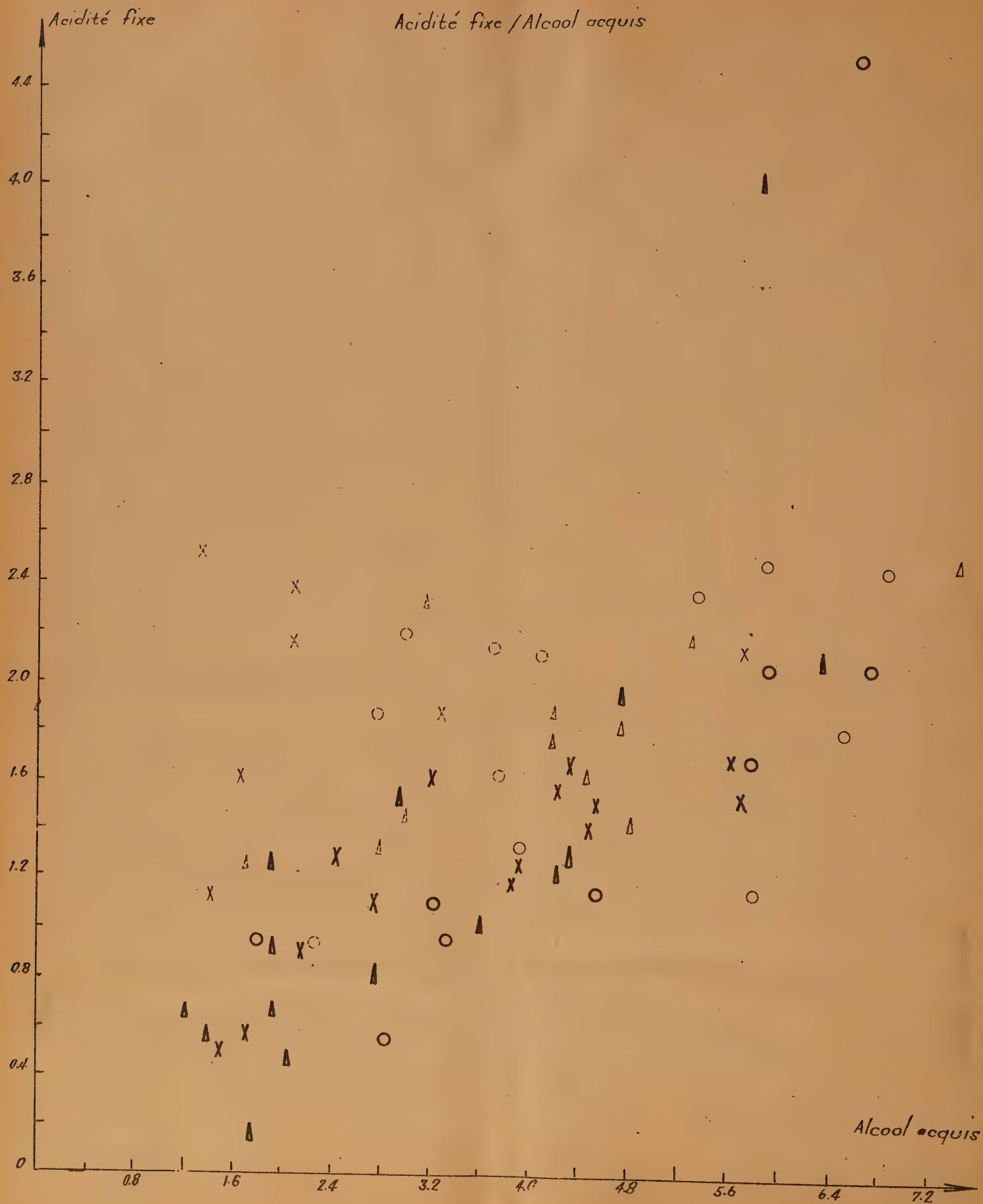




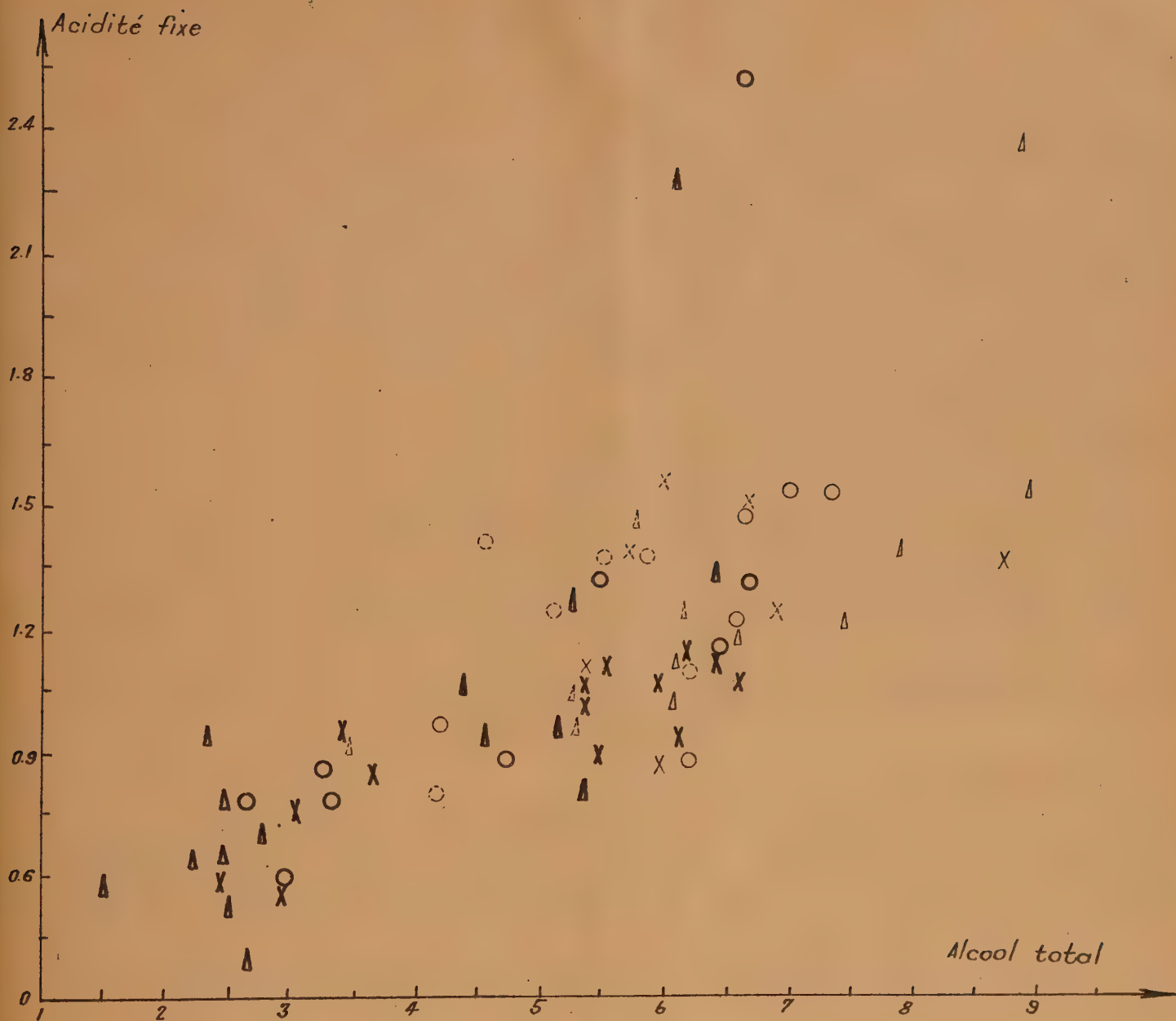
Alcool Acquis

Acidité Volatile / Alcool Acquis



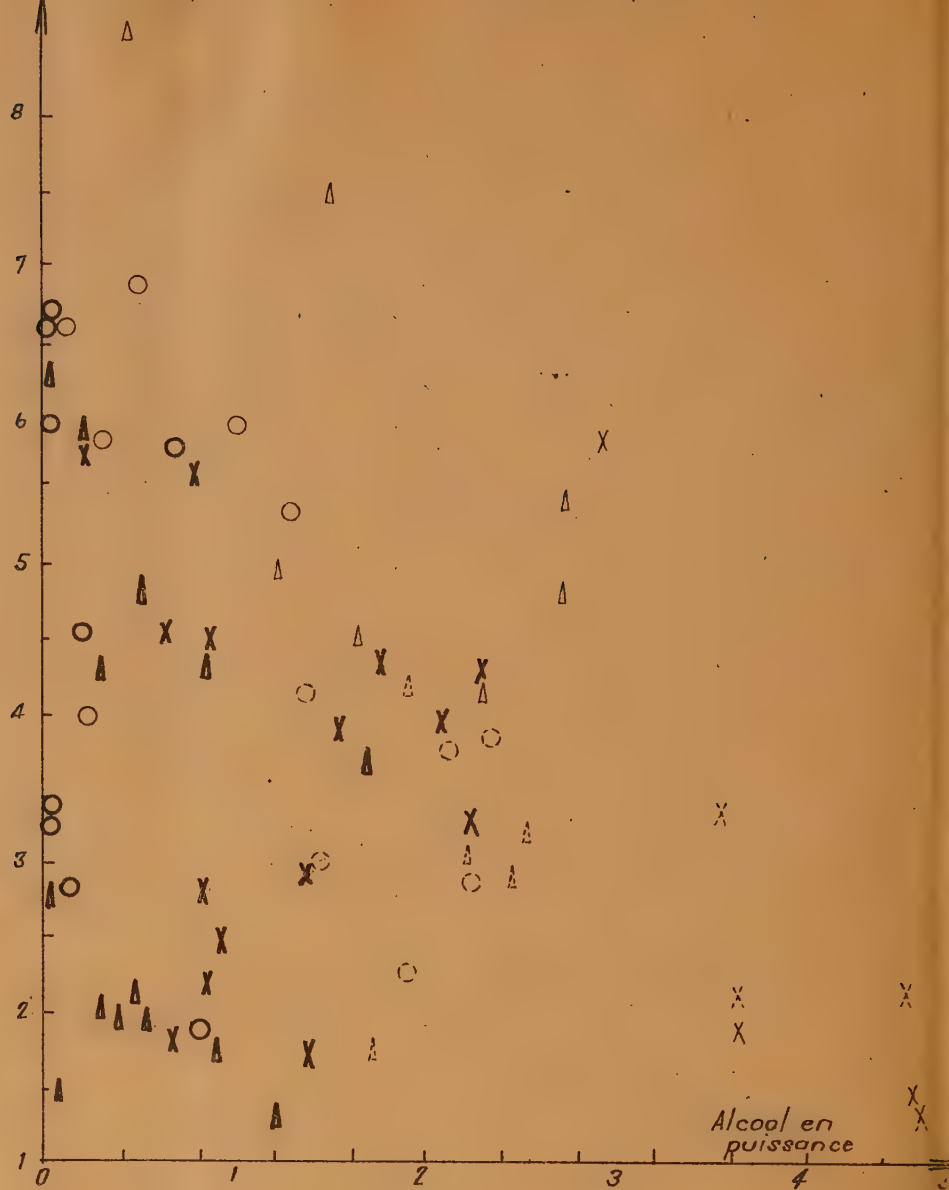


Acidité fixe / Alcool Total



Alcool Acquis

Alcool en puissance/
Alcool acquis

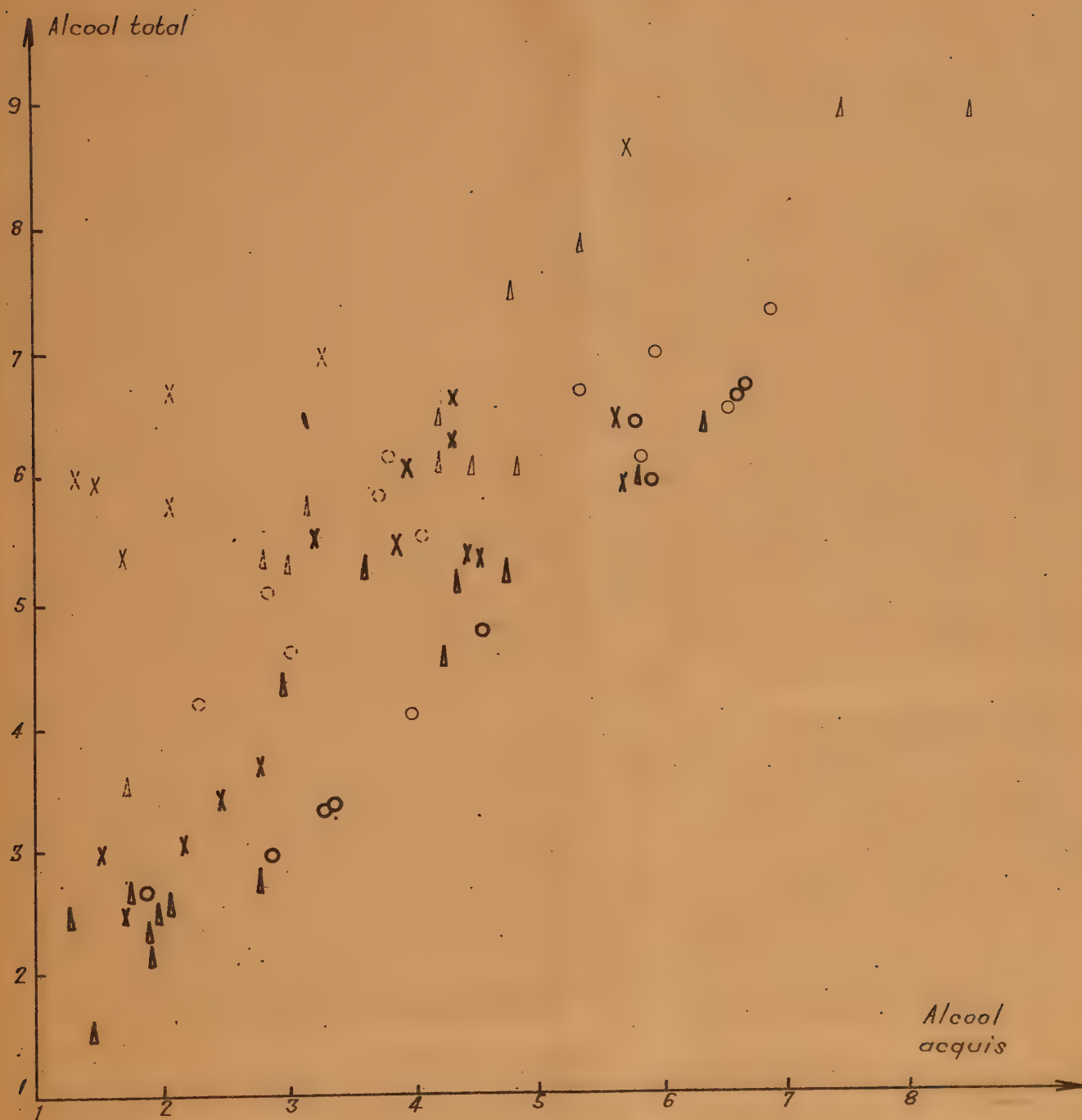


Glucose

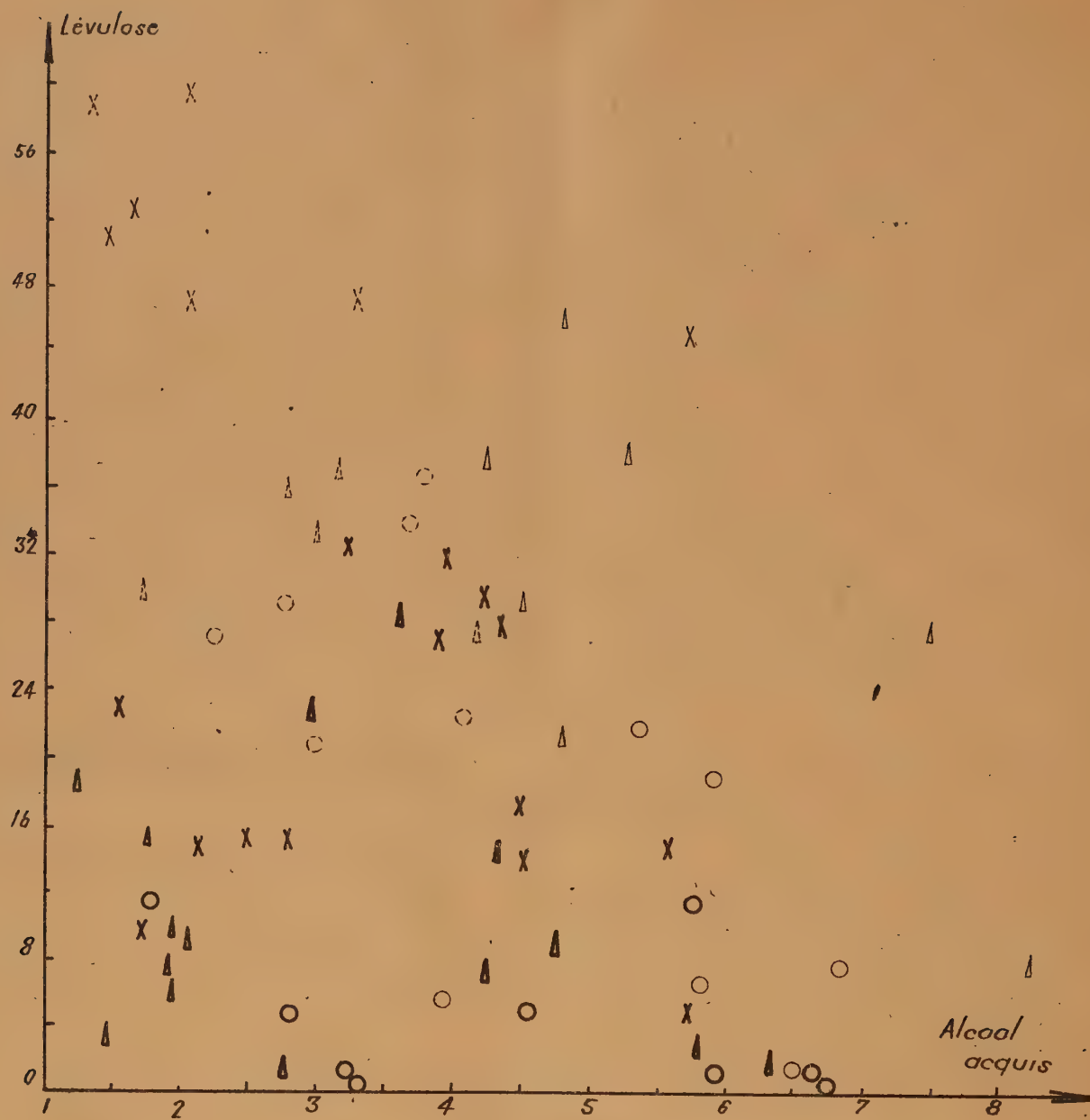
Glucose/
Alcool acquis

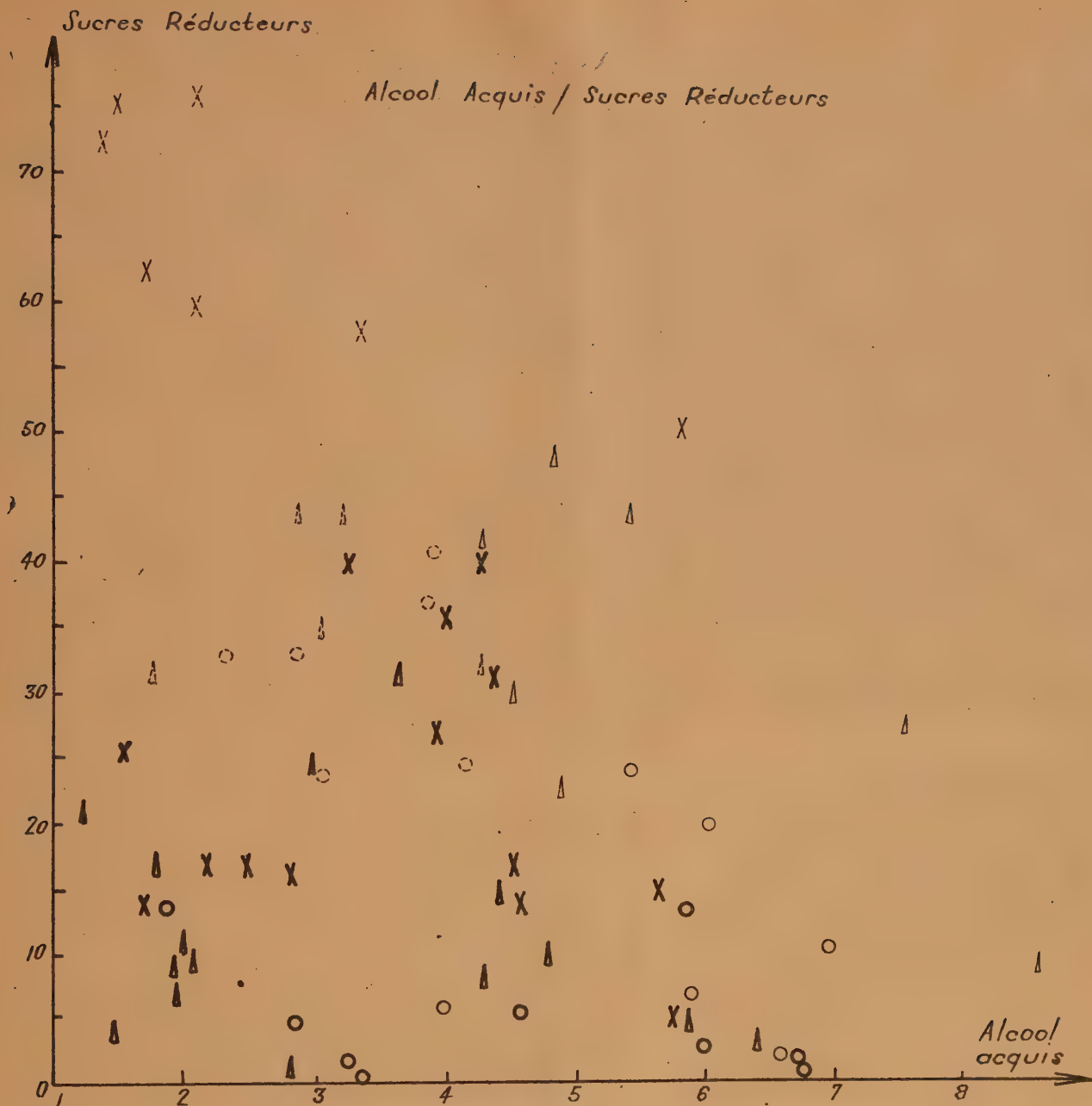


Alcool acquis / Alcool total

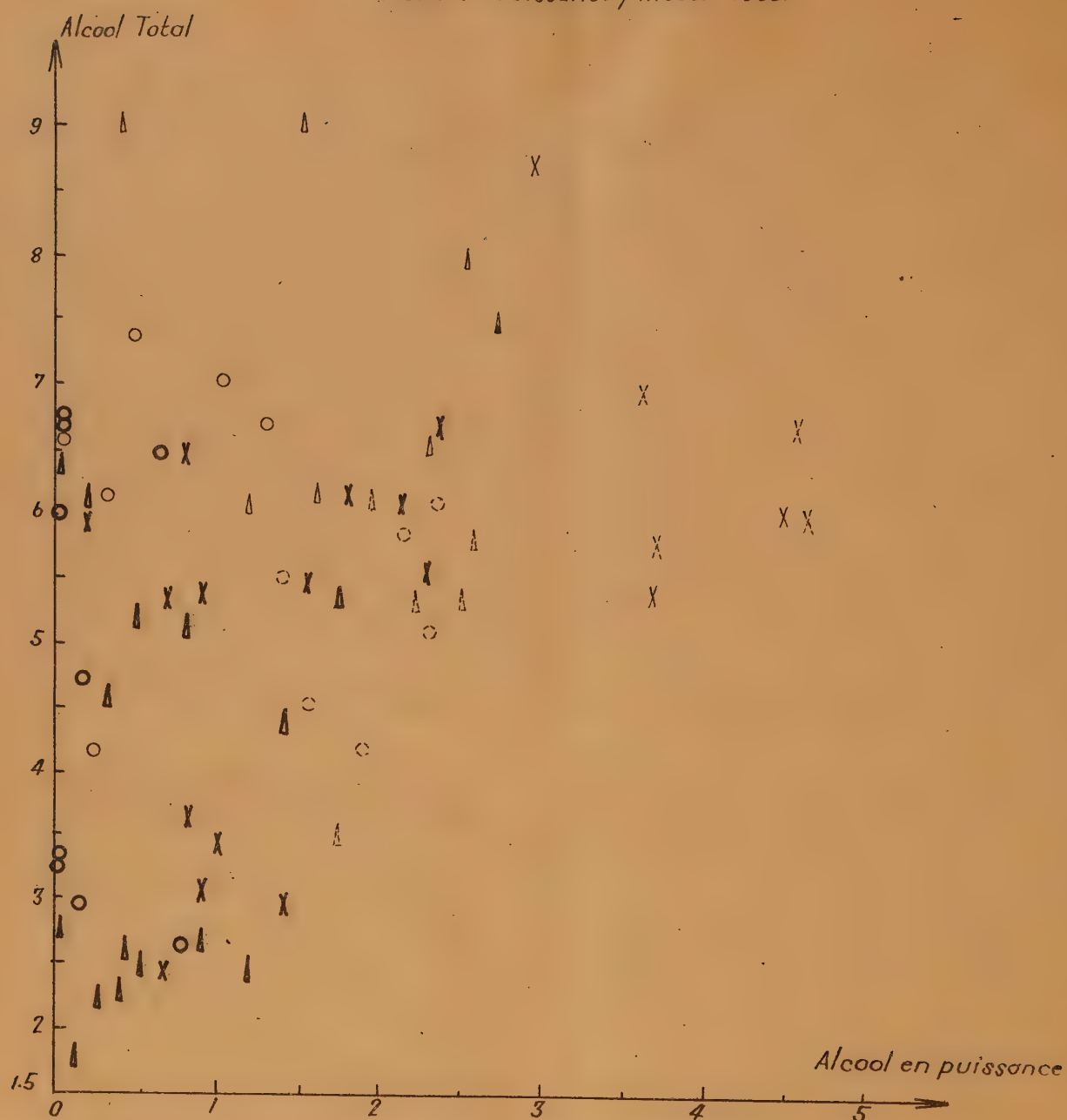


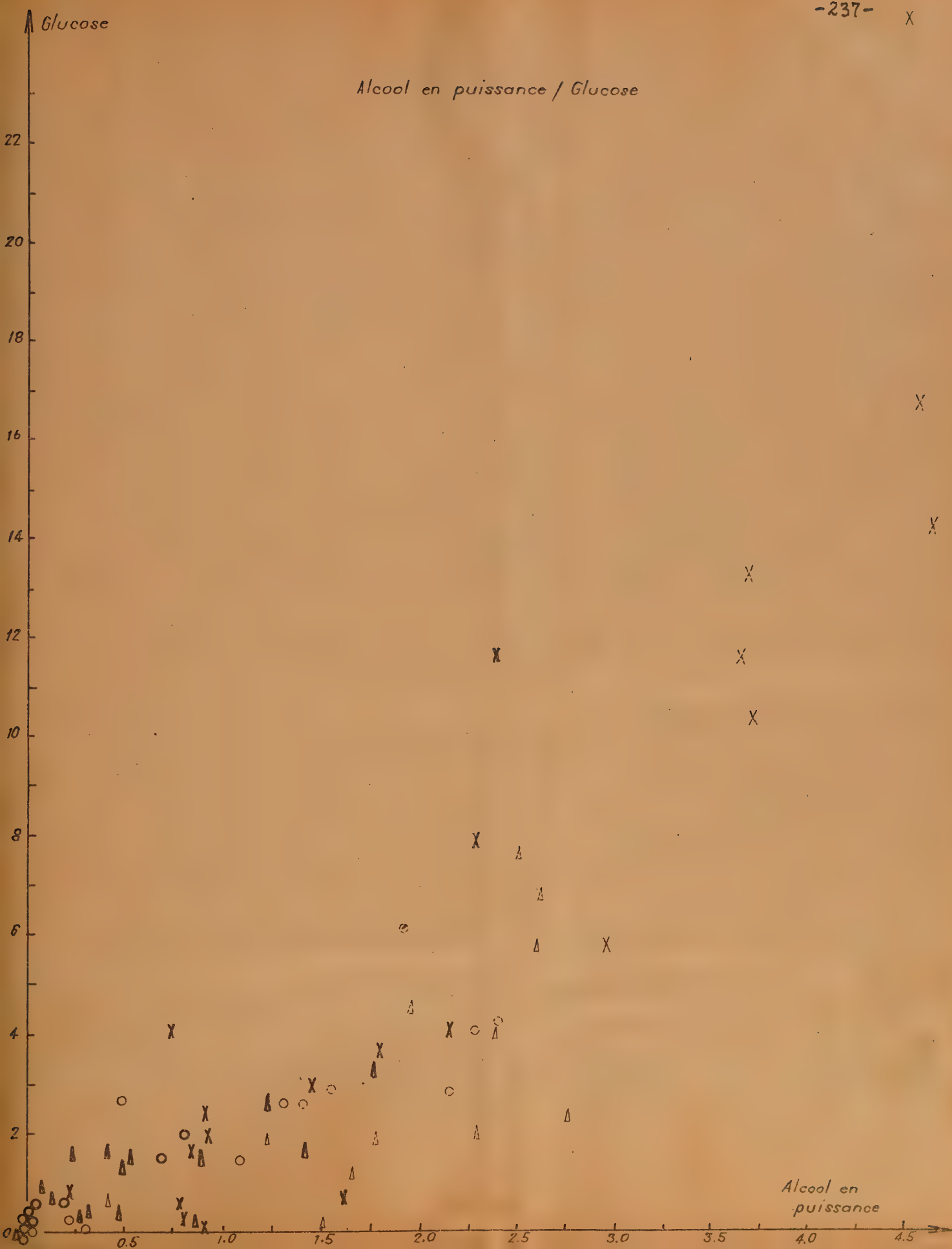
Levulose / Alcool acquis

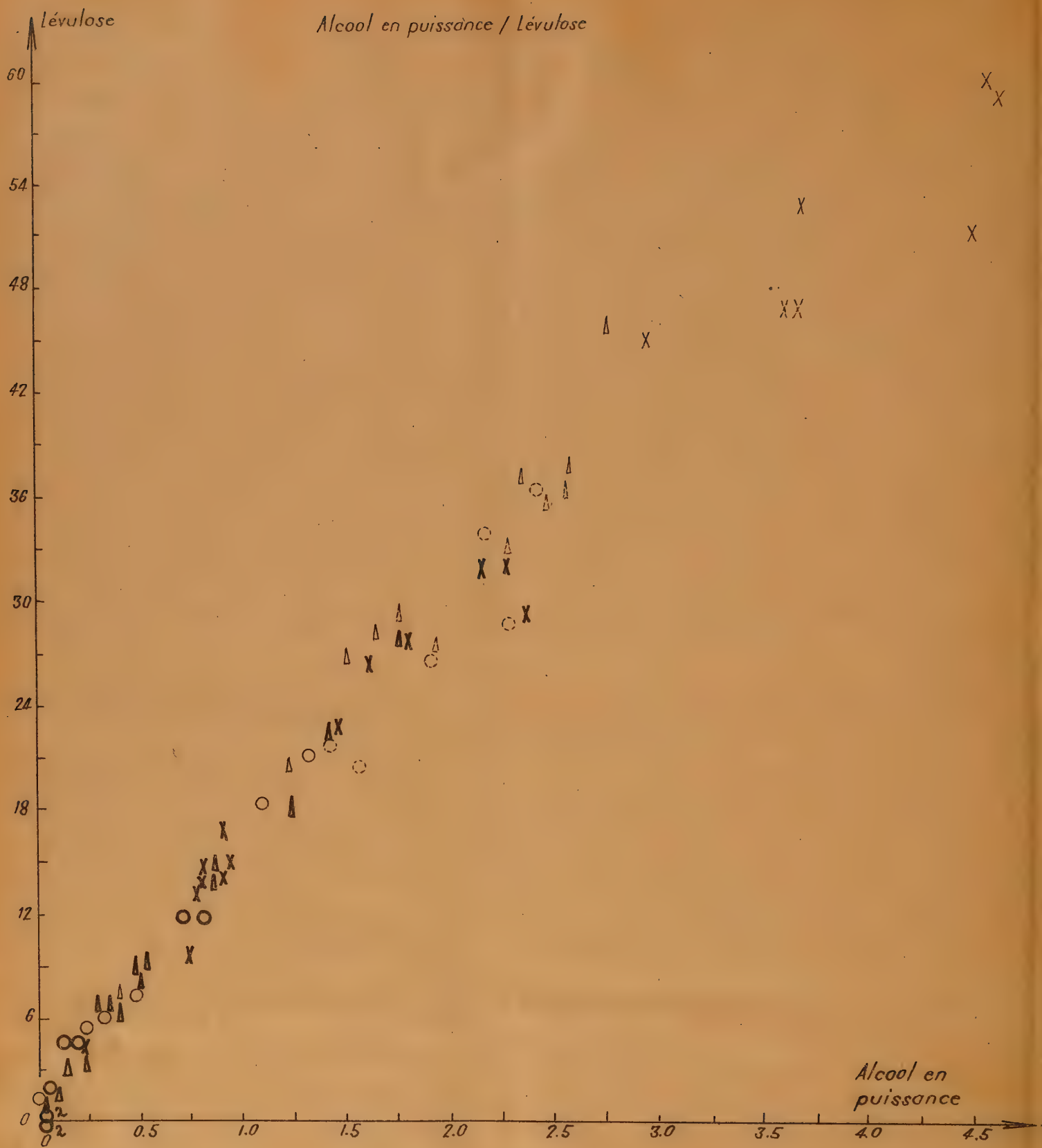




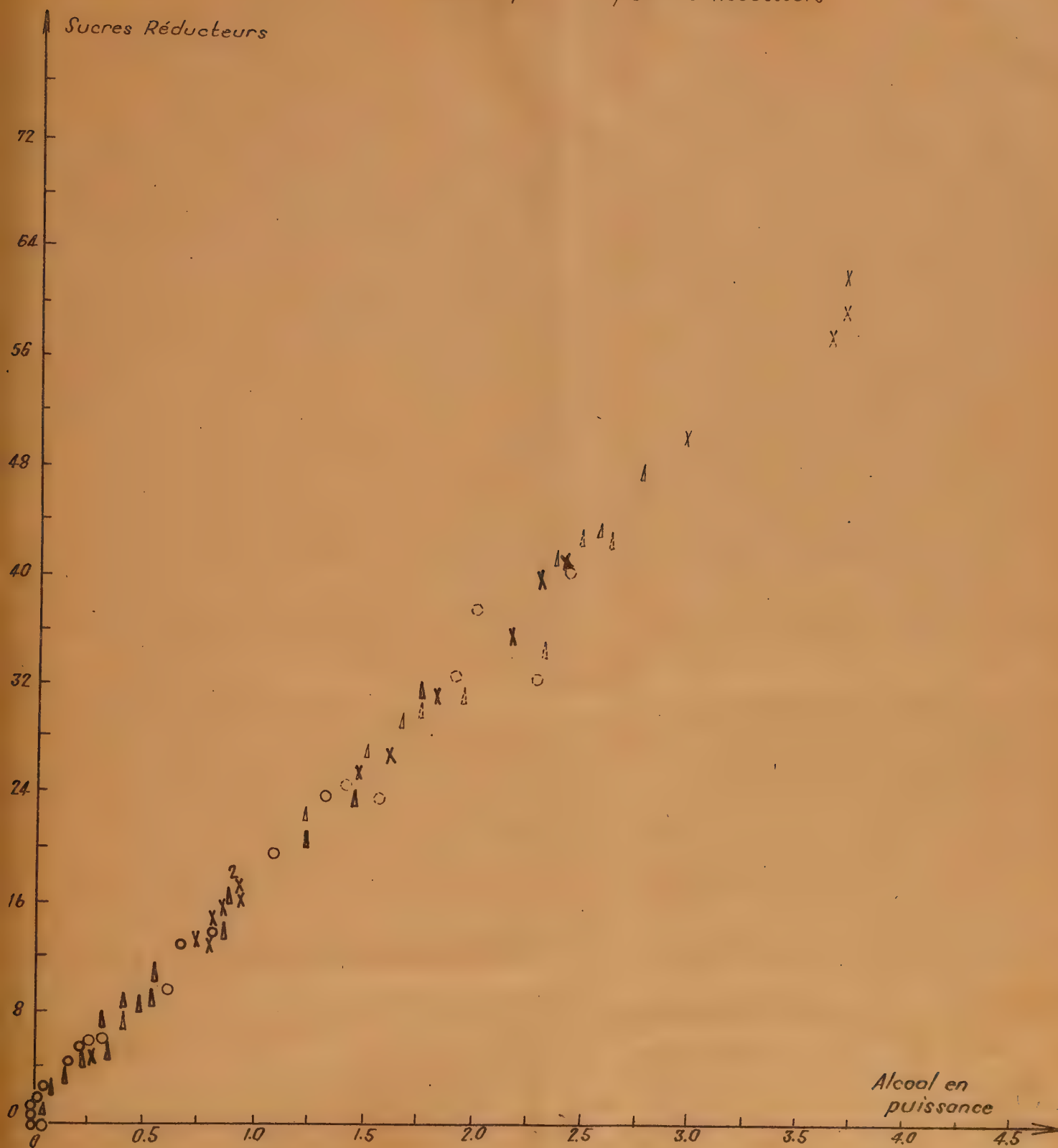
Alcool en Puissance / Alcool Total

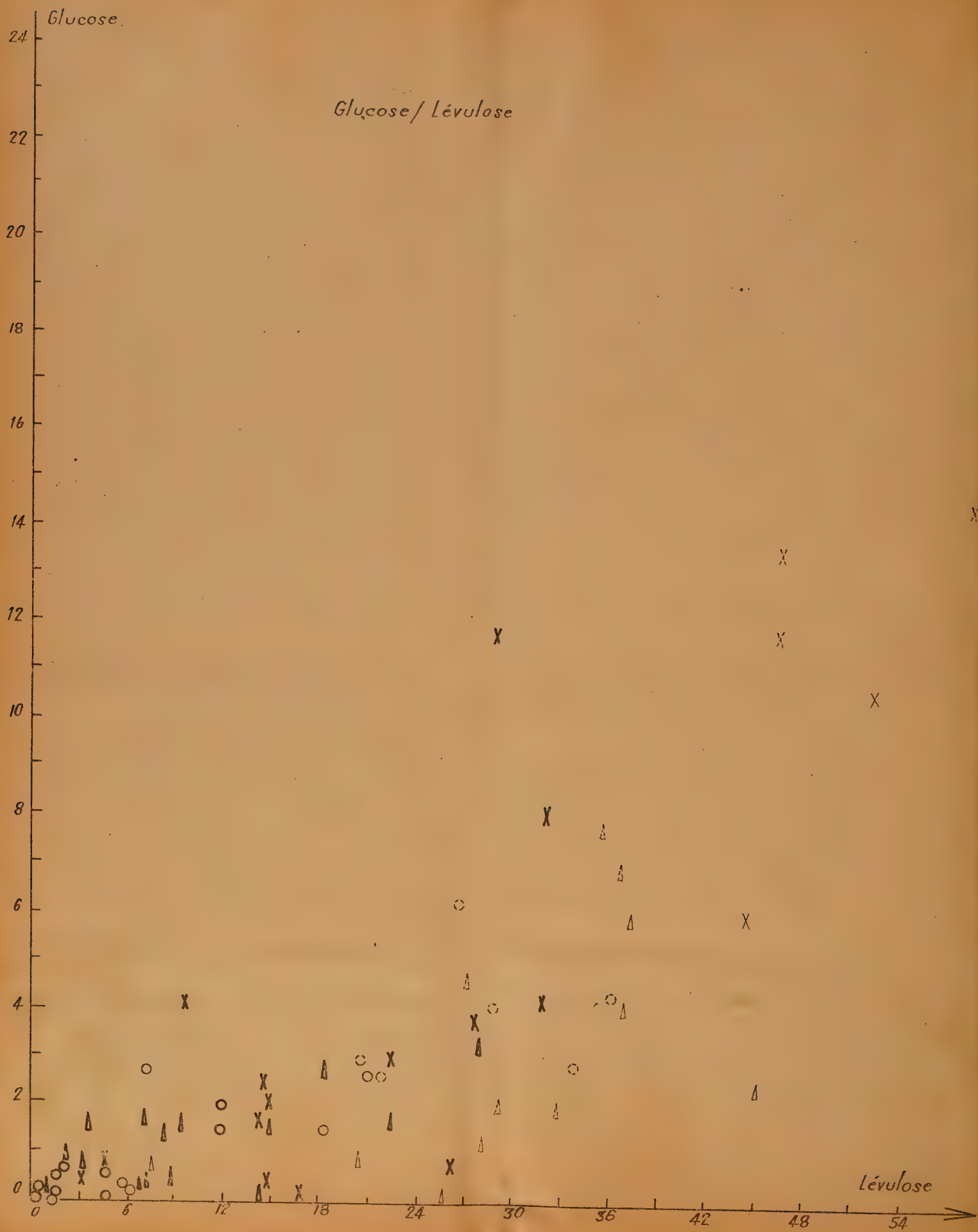




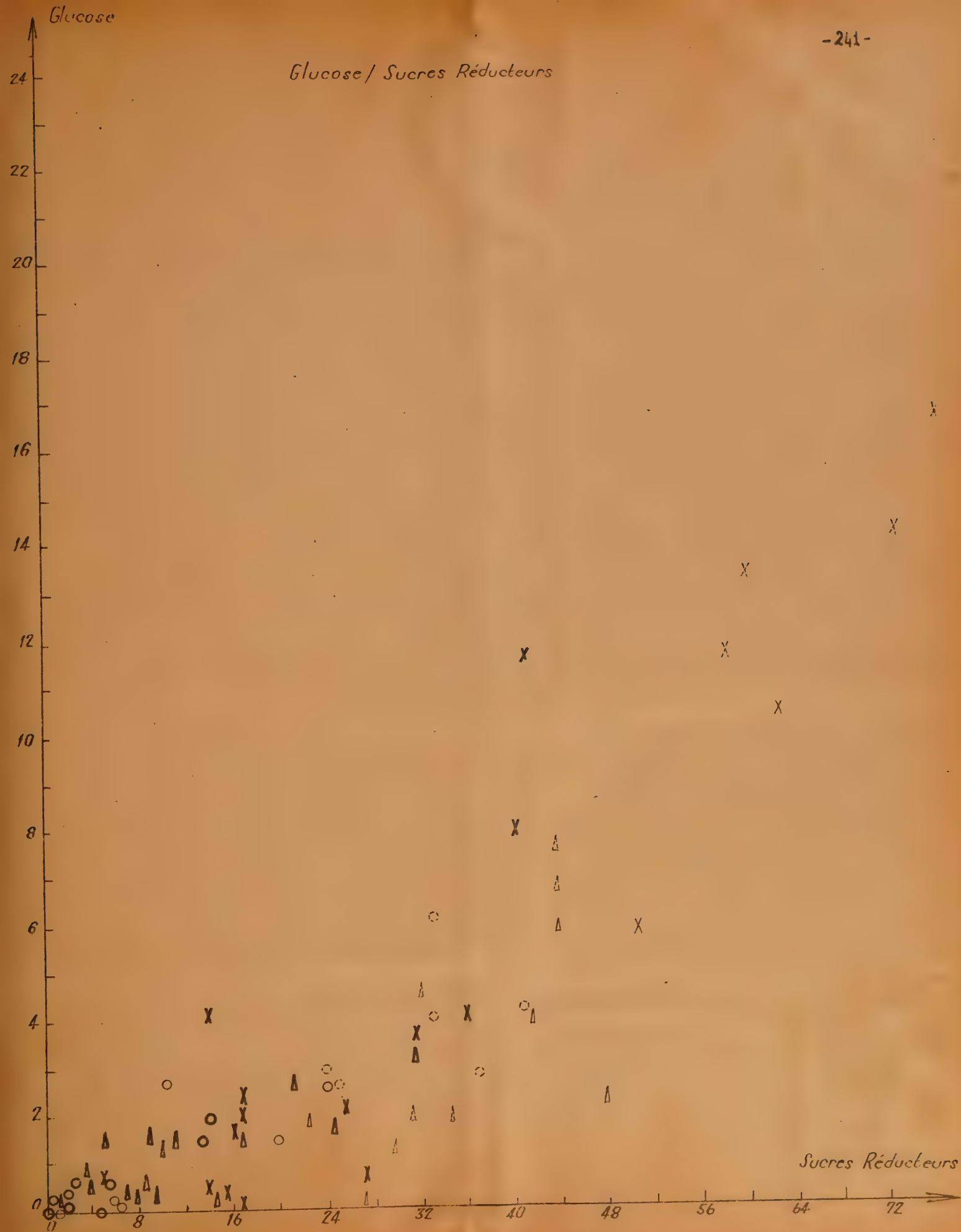


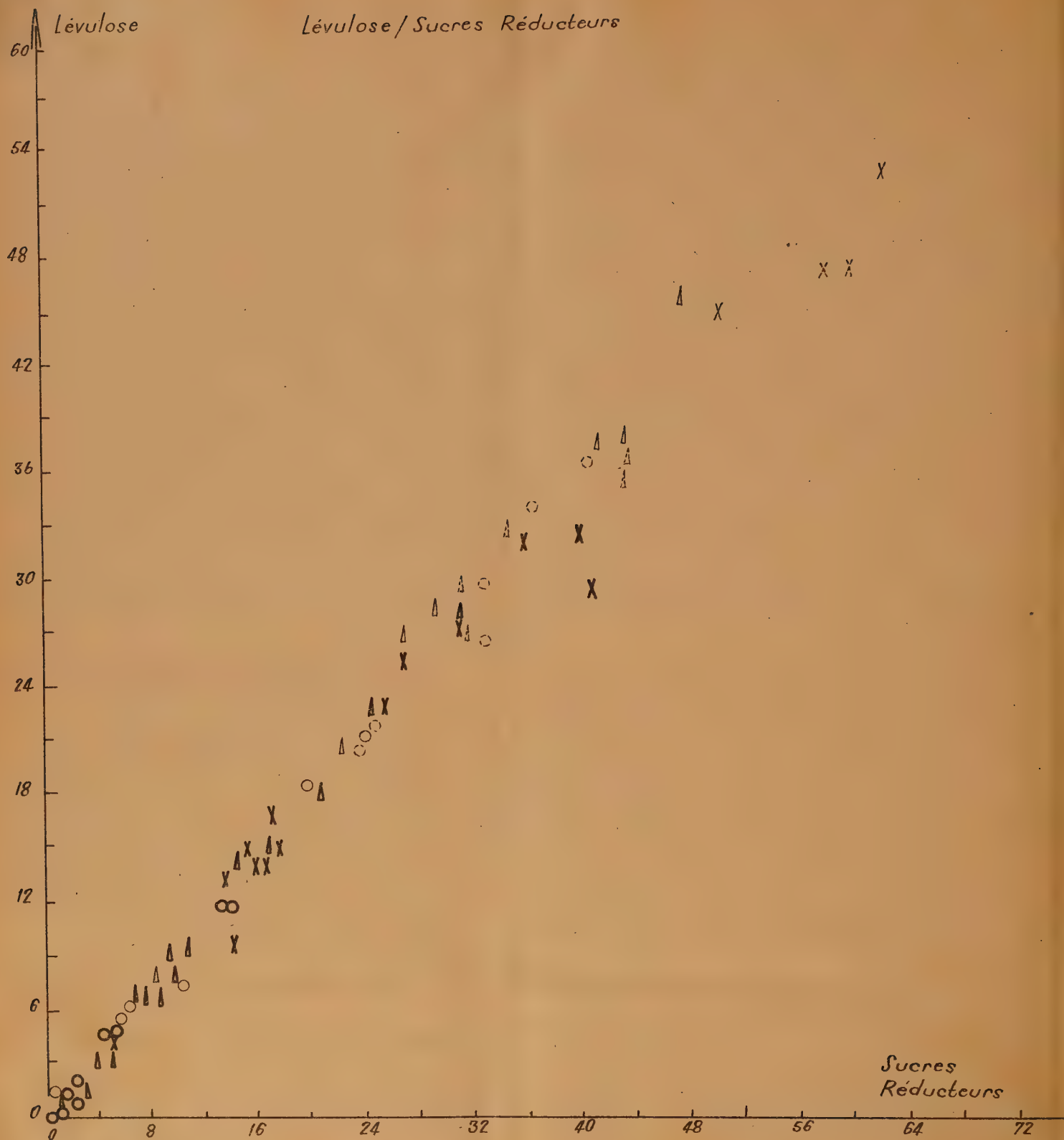
Alcool en puissance / Sucres Réducteurs

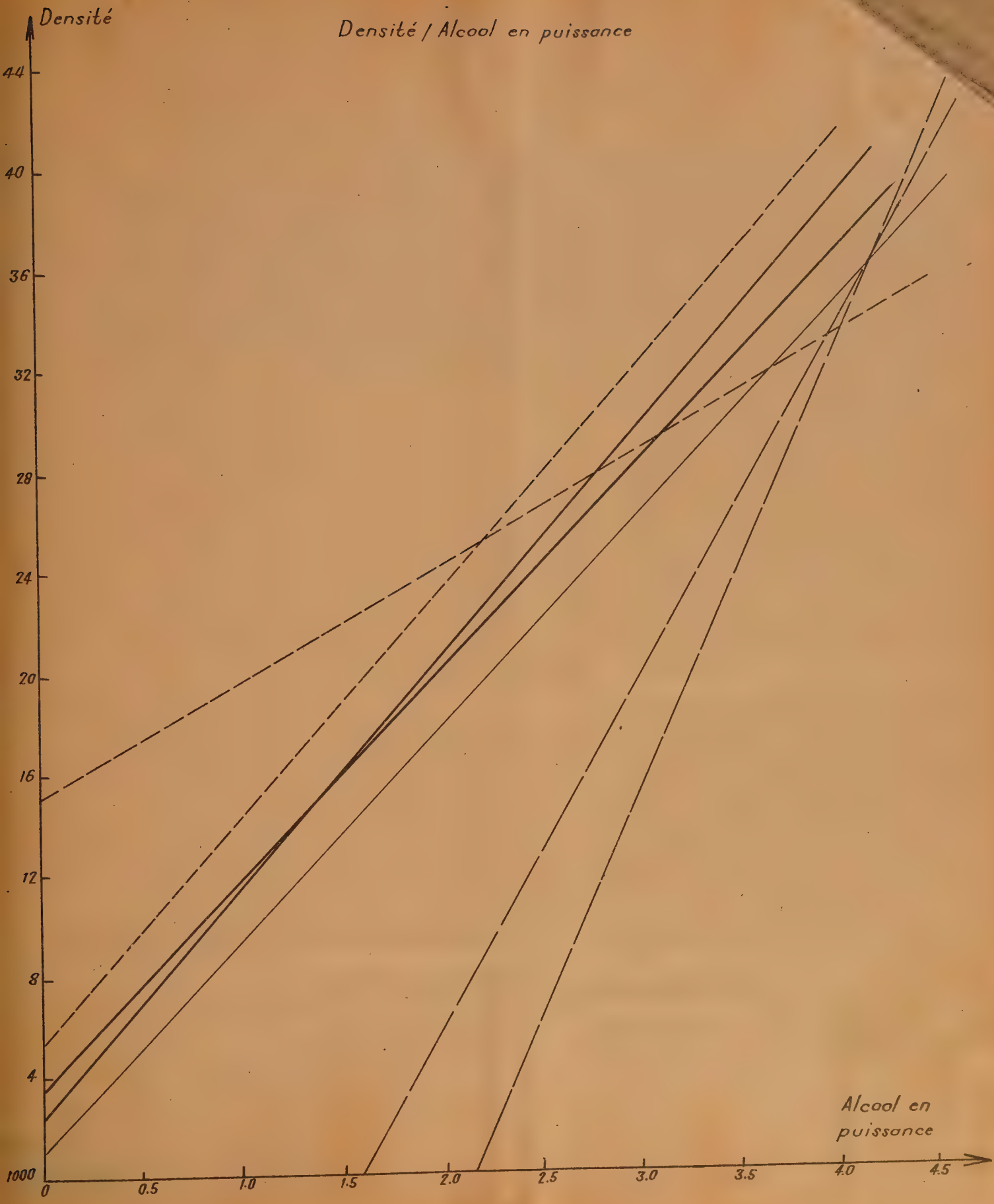




Glucose / Sucres Réducteurs

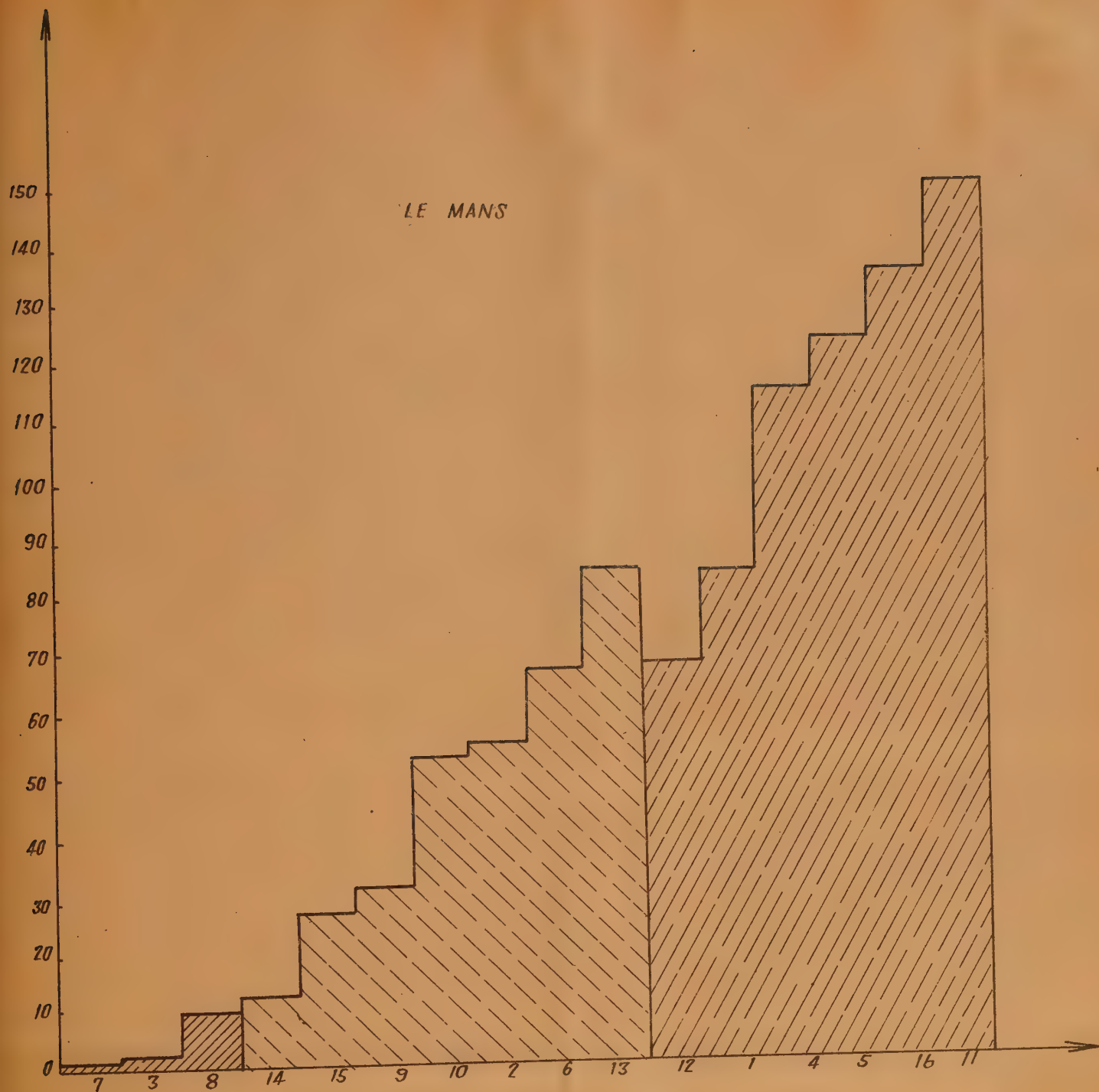


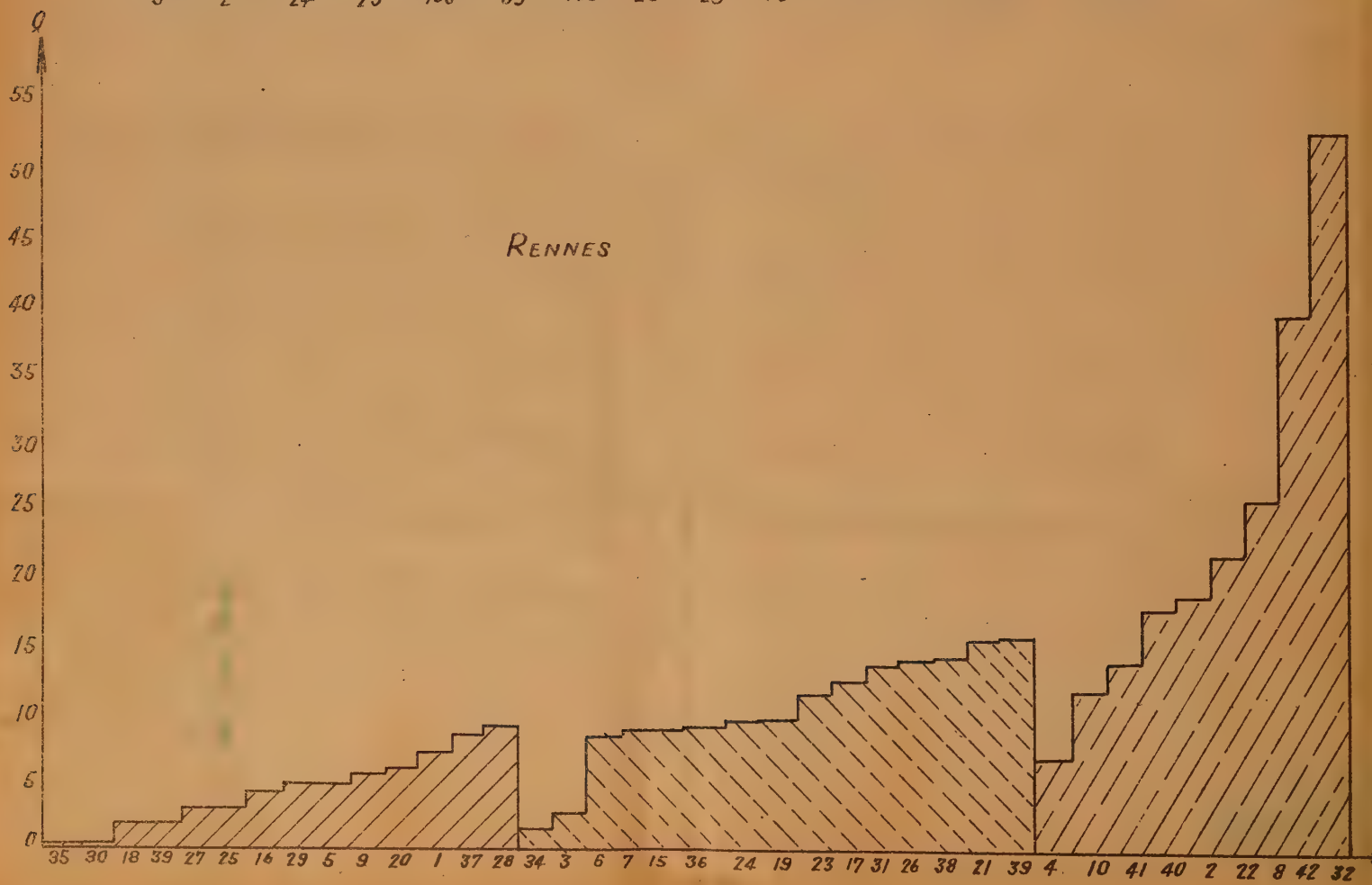
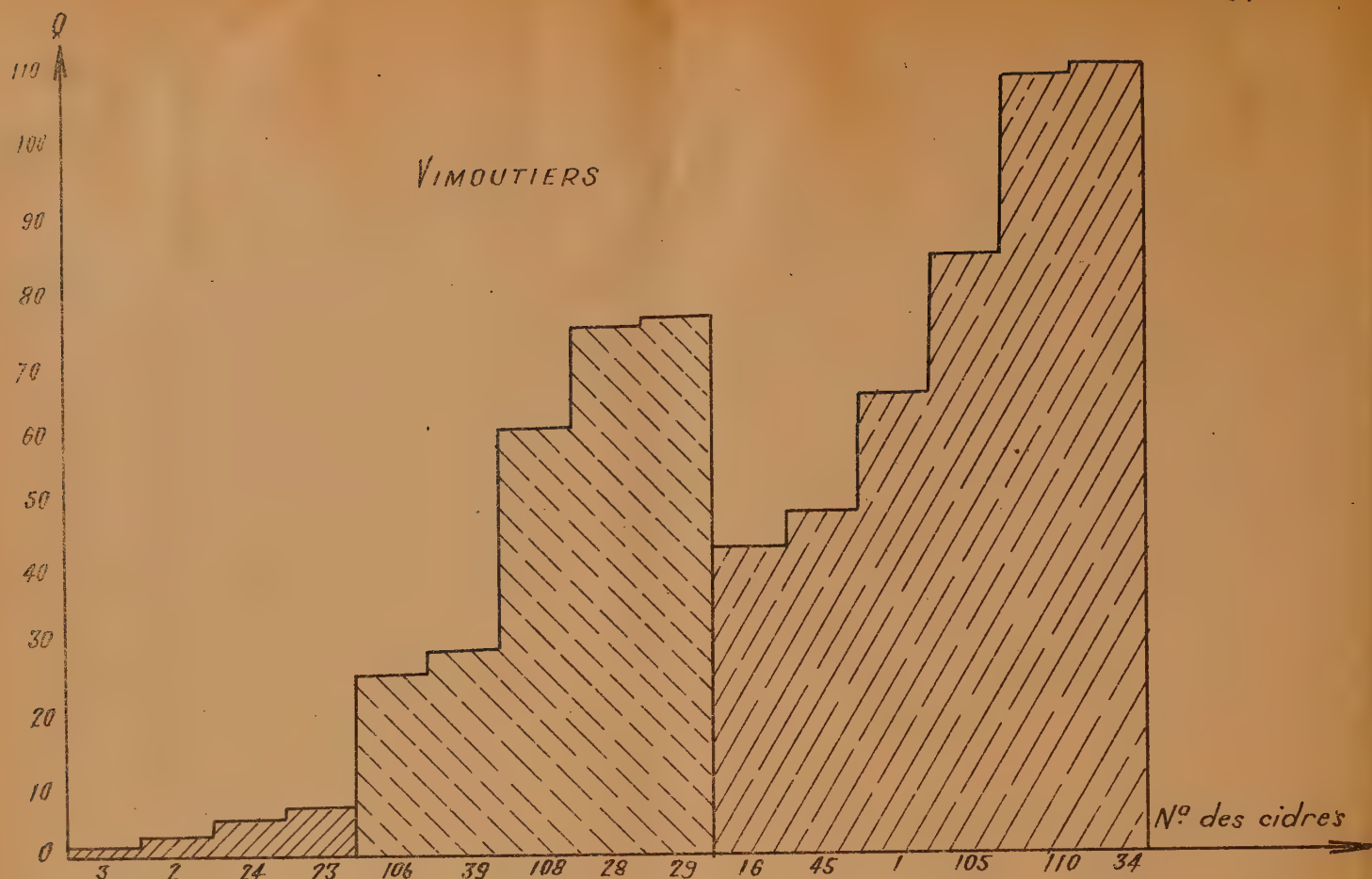




GRAPHIQUE N° 4Classification des cidres d'après leur composition chimique.

Nous portons en ordonnée dans ces graphiques les valeurs trouvées pour l'expression Q définie p. 97 et indiquées p. 102. En abscisse, les numéros des cidres. Nous conservons pour ceux-ci la répartition dans les classes fournies par la dégustation en représentant en hachures continues les très bons cidres, en hachures pointillées les bons, et en hachures mixtes les mauvais; mais dans chacune les rangeons d'après la valeur trouvée de Q : Les différences trouvées entre les deux classifications se remarquent immédiatement au passage d'une catégorie à l'autre, quand il y a lieu.





BIBLIOGRAPHIE

- (1) Y. GRAFF : "Des normes du cidre". VII Congrès Int. des Ind. agricoles. Paris, juillet 1948
- (2) KAISER : Ann. Inst. Pasteur 326 - 1890
- (3) MARCHADIER et GOUJON : C.R. Semaine Nat. du cidre, Paris 23 - 27 mai 1923
- (4) STEUART : Analyst 59 - 27 - 1934
Chem. Ind. 54 - N° 40 - 879 - 1935
- (5) DURIEUX et VILLEMART : Bull. Ass. Elèves Inst. Sup. fermentations (Gand) 30 - 333 - 1929
- (6) E.W. FARWELL : J. Bath et West Southern Counties Soc. 8 - 112 1935
- (7) WARCOLLIER : Recherche sur la composition chimique des jus de pommes et des cidres fournis par quelques variétés de pommes à cidre du département de la Manche.
Bull. Ass. Fr. Pomologie 1912
- (8) CALDWELL : J. Agr. Research 36 - 289 - 1928
391
407
- (9) KAISER : C.R. Semaine nat. du cidre Paris 23-27 Mai 1923
- (10) RIBEREAU-GAYON : C.R. Ac. Sc. 224 - 1388 - 1947
- (11) DIENER et KLEBER : Z. Untersuch. Lebensmitt. 81 - 385 - 1942
- (12) TAYLOR : J. Ministry Agr. 37 - 1095 - 1931
IRISH J.H. : Fruits Products J. et Amer. Vinegar Ind. : 7 N°2
15 - 1927 et n°3 - 12 - 1927
- (13) H.K. ARCHBOLD : Ann. Bot. 42 - 541 - 1928
- (14) PEARCE et BARKER : J. of Agr. Science : 3 - part. I - 1908
- (15) NEGRE : Ann. Fals. Fr. 32 - 175 - 1934
- (16) Y. GRAFF : Etude biochimique des levures de cidre (à paraître)

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>Introduction</u>	1
Difficultés du problème	3
Travaux existants	4
 <u>I° Partie</u>	
Chap.- I : Méthodes analytiques appliquées au dosage des divers constituants du cidre	9
Chap. II: Organisation des recherches	10
Chap.III: Résultats analytiques	21
 <u>II° Partie</u>	
Interprétation statistique des résultats	31
Chap. I : Relation entre la constitution des cidres et les facteurs extérieurs	32
A/ Composition, cru et qualité	55
B/ Composition, pommes et levure	64
Chap. II: Corrélation entre les divers éléments du cidre	65
A/ Graphiques de corrélation	66
B/ Calcul des coefficients de corrélation	78
C/ Interprétation des corrélations observées	83
D/ Calcul des rapports de corrélation	86
E/ Calcul des coefficients de régression, Equation des droites de régression	89
F/ Rapports de corrélation entre les éléments du cidre et le goût	93
Chap.III: Recherche de la qualité des cidres d'après leur composition chimique	107
 <u>Conclusion</u>	107
 <u>Graphiques</u>	
A/ Résultats analytiques	110
B/ Comparaison des moyennes	179
C/ Corrélation entre divers éléments du cidre	191
D/ Classification des cidres d'après leur composition chimique	244
 <u>Bibliographie</u>	247

